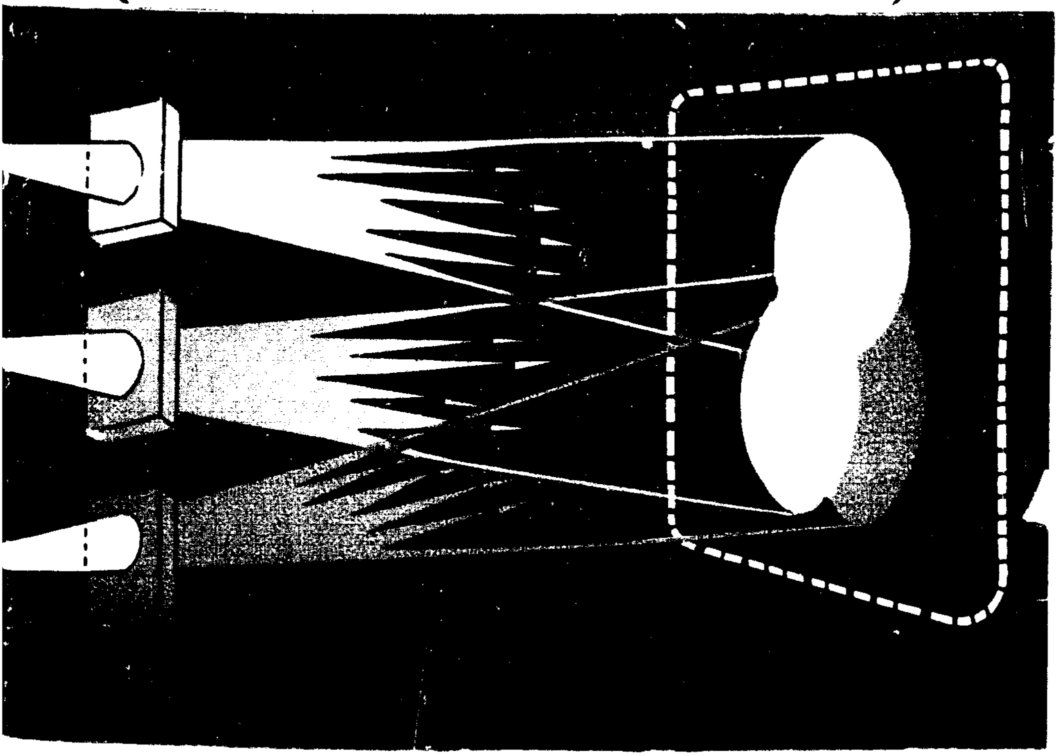
ஒளியியலும் நிறமாலையியலும் II

(OPTICS AND SPECTROSCOPY)



இரா. செயராம்

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—863

ஒளியியலும் நிறமாலையியலும்

(இரண்டாம் பகுதி)

(பட்டப் படிப்பிற்குரியது)

(திருத்தப்பட்ட பாடத்திட்டத்தின்படி
வெளியிடப்படுகிறது)

ஆசிரியர்

இரா. செயராம், எம். எஸ்சி.,
இயற்பியல் உதவிப் பேராசிரியர்,
மாநிலக் கல்லூரி, சென்னை.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition — September 1980
Number of Copies—2000
T.N.T.B.S. (C.P.) No. 863

© Government of Tamilnadu

OPTICS AND SPECTROSCOPY—Part II

R. JAYARAM

Price Rs. 22-20

Published by the Tamilnadu Textbook Society under the Centrally Sponsored Scheme of production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

This book has been printed on concessional paper made available by the Government of India.

Printed by
CAUVERY PRINTERS
Madras-600 008

அணிந்துரை

(திரு. செ. அரங்கநாயகம், தமிழகக் கல்வி அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கி இருப தாண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் இளங் கலை வகுப்புவரை மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத் தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளில் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறை களில் நூல்கள் எழுதித்தர முன்வந்துள்ள நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத்திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மனநிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ்வகையில் கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்களுக்குத் தமிழிலேயே பயிற்று விப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைக் காமராசர் பல்கலைக்கழகமும் சென்னைப் பல்கலைக்கழகமும் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெரு முயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல வேண்டும்.

அரசியல், இயற்பியல், உளவியல், கணிதவியல், கல்வியியல், சட்டவியல், தாவரவியல் புவியியல், புள்ளியியல், பொருளியல், பொறியியல், மருத்துவவியல், மெய்ப்பொருளியல், வாணிகவியல் வரலாற்றியல், விலங்கியல், வேதியியல் முதலிய பல துறை களிலும் மூலநூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்று இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் நூல்களை வெளியிட்டு வருகிறது

இவற்றுள் ஒன்றான ஒளியியலும் நிறமாலையியலும் (இரண்டாம் பாகம்) என்னும் இந்நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 863 ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 898 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந்நூல் மைய அரசு, கல்வி, சமூகநல அமைச்சகத்தின், 'மாநில மொழியியல் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்ட'த்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

தமிழில் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும் என்பதே நம் குறிக்கோளாகும். கல்லூரிகளிலும் பல்கலைக்கழகங்களிலும் கலையியற் பாடங் களையும், அறிவியற் பாடங்களையும், தொழில்நுட்ப அறிவுப் பாடங்களையும் பயிலுகின்ற மாணவர்கள், அவற்றைத் தமிழில் பயிலவேண்டும் என்பதை வலியுறுத்தி வருவதற்குக் காரணம், தமிழறிவு வளரவேண்டும் என்பதைவிட, தமிழ் மக்களின் அறிவு ஆற்றல் எளிதாக, விரைவாக வளரவேண்டும் என்பதுதான். 'எதிலும் தமிழ்; எங்கும் தமிழ்' என்னும் குறிக்கோளை நிறை வேற்ற வேண்டிய கடப்பாடு தமிழக ஆசிரியப் பெருமக்களையும் மாணவர்களையும் சார்ந்ததாகும் தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம் கலந்த நன்றி உரியதாகுக!

செ. அரங்கநாயகம்

பொருளடக்கம்

(இரண்டாம் பகுதி)

இயற்பியல் ஒளியியல்

			பக்கம்
13.	ஒளிக் கொள்கைகள்	...	1
14.	அலை இயக்கமும் அலைக் கொள்கையும்	...	9
15.	ஒளிக் குறுக்கீடு	...	55
16.	அலைவீச்சைப் பிரித்து ஒளிக் குறுக்கீடு	...	86
17.	குறுக்கீட்டுமானிகள்	...	115
18.	விளிம்பு விளைவு	...	141
19.	பிரான் ஹோபர் விளிம்பு விளைவு	...	168
20.	ஒளியியல் கருவிகளின் பகுதிறன்	...	196
21.	தள விளைவு	...	229
22.	இரட்டை விலக்கம்	...	248
23.	தளவிளைவுற்ற ஒளியினைத் தோற்றுவித்தலும் பகுத்தலும்	...	271
24.	ஒளியியல் வினை	...	293
25.	ஒளியின் மின்காந்தக் கொள்கை	...	308

நிறமாலையியல்

26.	நிறமாலையியல் வகைகளும் ஆய்வுகளும்	...	325
27.	ஒளிச்சிதறலும் இராமன் விளைவும்	...	341
	மேற்கோள் நூற்பட்டியல்	...	360
	கலைச்சொற்கள்	...	361

இரண்டாம் பகுதி

இயற்பியல் ஒளியியல்

13. ஒளிக் கொள்கைகள்

13.1. ஒளிக்கொள்கை — முன்னுரை

வடிவியல் ஒளியியலில் ஆடிகள், வில்லைகள் முதலியவை படிவங்கள் தோற்றுவித்தலுக்கான விதிமுறைகளைப்பற்றிப் படித்தோம். படிவங்கள் தோன்றுதலைக் கருதும்பொழுது ஒளி நேர்க்கோட்டில் பரவுகின்றது என்பதுடன் சில ஆய்வு விதிகளை மட்டுமே எடுத்துக்கொண்டோம். ஆனால், ஒளியின் தன்மைகளைப் பற்றி ஆராயவில்லை. மேலும் இத் தன்மைகள் எப்படி ஒளி எதிரொளிப்பு, ஒளி விலகல் போன்ற நடைமுறை விளைவுகளை விளக்கப் பயன்பட்டிருக்கும் என்பதனையும் நாம் கருதவில்லை. இவைகளுடன் ஒளிக்கு ஆற்றல் உண்டு என்பதனையும் அது வெற்றிடத்திலும் குறிப்பிட்ட திசை வேகத்துடன் பரவுகின்றது என்பதனையும் எடுத்து விளக்கவில்லை.

ஆக இவ்வாறு வடிவியல் ஒளியியலில் விடப்பட்டுள்ள ஒளியின் பண்புகளைக் கொண்டு ஒளி எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல், முழு அக எதிரொளிப்பு ஆகியவற்றைத் தெளிவாக விளக்குவதுடன் ஒளிக்குறுக்கீடு (Interference), விளிம்பு விளைவு (Diffraction), தளவிளைவு (Polarisation) முதலியவற்றையும் விளக்கும் பகுதிக்கு இயற்பியல் ஒளியியல் (Physical Optics) என்று பெயர்.

ஒளியின் இயல்புகளைப்பற்றிய கொள்கைகள் 17ஆம் நூற்றாண்டின் பிற்பகுதியில் ஏற்படலாயின. அவற்றுள் துகட் கொள்கை (Corpuscular theory), அலைக்கொள்கை (Wave theory) எனும் இரண்டும் முக்கியமானவையாகும். இவையிரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று முரண்பட்டவைபோல் தோன்றின. இதனால் இவற்றில் ஒவ்வொன்றினைக் கொண்டும் ஒளியின் நிகழ்வுகளான எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் போன்றவற்றை எந்த அளவுக்கு விளக்க இயலுமெனப் பார்த்து அவற்றில் எது சிறந்தது என்ற முடிவுக்கு வர வேண்டும்.

இவற்றில் துகட் கொள்கையினைப்பற்றி இந்த 13ஆம் அத்தியாயத்திலும், அலைக்கொள்கையையும் அதன்மூலம் கொள்ளும் விளக்கங்களையும் 14ஆம் அத்தியாயத்திலும் காணலாம்.

இவை மட்டுமன்றி, 1860ஆம் ஆண்டில் கிளார்க் மாக்ஸ்வெல் என்பார், ஒளிக்கான மின்காந்தக் கொள்கையைக் (Electromagnetic theory) கொடுத்தார். 1885-ஆம் ஆண்டில் ஹெர்ட்ஸ் (Hertz) இவ்வலைகள் இருப்பதை நிரூபித்துக் காட்டினார். ஒளியின் அலைக்கொள்கையினைப் போன்று இங்கும் ஒளி அலைவடிவில் பரவுகின்றது. இந்த அலைகள் மின்காந்தத் தன்மையைக் கொண்டவை. இவை பரவ ஊடகம் தேவையில்லை. இக்கொள்கையினைப் பற்றி அத்தியாயம் 25-ல் படிக்க உள்ளோம்.

மேலும் 20ஆம் நூற்றாண்டில் ஒளியின் குவான்டம் கொள்கை (Quantum theory) கொடுக்கப்பட்டது. இங்கு ஒளிக்கும் பருப்பொருளுக்கும் (Matter) இடையிலான செயலெதிர்ச் செயல் (Interaction) கருதப்படுகின்றது. இதற்கு பிளாங்க் (Planck) கொடுத்த கதிர்வீச்சிற்கான விளக்கம் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றது. இதன்படி ஒவ்வோர் அணுவும் ஓர் அலையியற்றி (Oscillator) போன்று செயல்படுகின்றது. அது உட்கவரும் அல்லது வெளியிடும் ஆற்றல் தொடர்ச்சியற்றதாக, குவான்டா (quanta) எனப்படும் '$h\nu$' என்னும் மதிப்பின் முழு எண் பெருக்கல் பலனாக அமைகின்றது. இங்கு h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி, ν என்பது அணு அலையியற்றியின் அதிர்வு எண்.

கொள்கை யொன்றானது ஆய்வுகளின்மூலம் கண்ட உண்மைகளை விளக்குவதுடன், அவை ஒன்றுடன் ஒன்று எம்முறையில் தொடர்பு கொண்டுள்ளன என்று விளக்கவும் வேண்டும். குறைந்த அளவு தற்கோள்களைக் (Assumptions) கொண்டதாக இருக்க வேண்டும். பின்னால் ஏற்படும் நிலைகளுக்கு ஏற்ப புதுப் புது தற்கோள்களை மேற்கொள்ளாதவாறு அமைதல் வேண்டும். இவற்றுடன் இக் கொள்கையின்மூலம் விஞ்ஞான முன்னேற்றத்திற்கான புதிய கண்டுபிடிப்புகளுக்கு வழி ஏற்பட வேண்டும்.

அடுத்து ஒளியைப்பற்றிய சில உண்மைகளைக் காண்போம்:

(1) ஒளியும் ஒருவகை ஆற்றலாகும். இதனைச் சிறியதோர் ஆய்வின்மூலம் அறியலாம். முப்பட்டக மொன்றின் வழியாகச் செல்லும் வெள்ளொளி நிறப்பிரிகை அடைவதனால் கிடைக்கும் நிறமாலையின் அருகில் நுட்பமிகு வெப்பநிலைமானியொன்றை வைத்தால் வெப்பநிலை உயர்வது தெரியும். இவ்வுயர்வு வெப்பநிலைமானியின் பாதரசக் குமிழானது ஆற்றலைக் கவர்வதனாலேயே உண்டாகின்றது. எனவே, ஒளியும் ஒருவகை ஆற்றலே என்பது தெளிவு.

(2) ஒருபடித்தான (Homogenous) ஊடகமொன்றில் ஒளி நேர்க்கோட்டுப் பாதையில் பரவுகின்றது.

(3) ஒளி வெற்றிடத்தில் ஊடுருவிச் செல்லும்; எனவே ஒளி பரவ ஊடகம் இருக்க வேண்டுமென்பதில்லை.

(4) வடிவியல் ஒளியியலில் கண்டது போன்று ஒளியானது சில விதிகளுக்குட்பட்டு எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் போன்ற நிகழ்வுகளுக்கு உள்ளாகும்.

(5) திசையொப்புப் பண்பியலான ஊடகம் (Isotropic medium) ஒன்றில் ஒளியின் திசைவேகமானது மாறிலியாக இருக்கும்.

இனி துகட் கொள்கை, அலைக்கொள்கை இரண்டின் அமைவுகளையும் அவை வெவ்வேறு நிகழ்வுகளுக்குக் கொடுக்கும் விளக்கங்கள் குறித்தும் ஆராய்வோம்.

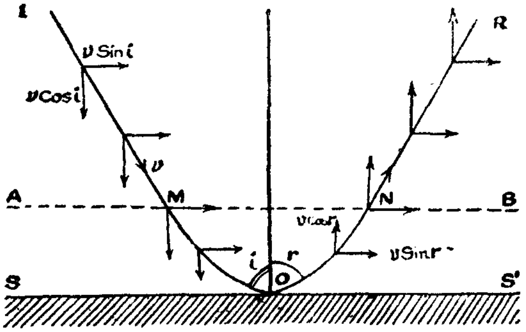
துகட் கொள்கை

13.2. நியூட்டனின் துகட் கொள்கை

தன் ஒளிபடைத்த ஒளி மூலங்கள் ஒருவகைத் துகள்களை எல்லாத் திசைகளிலும் இடையறுமல் வெளியிட்டுக் கொண்டுள்ளன என்பது நியூட்டனின் காலத்திற்கு முன்பே உணரப்பட்டது. பார்க்கப்படும் பொருள்களுக்கும் கண்களுக்கும் இடையேயுள்ள வெளியில் அத்துகள்கள் பரவுகின்றன எனவும் கூறப்பட்டது. இவ்வாறுன எண்ணங்களை அடிப்படையாகக் கொண்டு தம்முடைய துகட் கொள்கையை நியூட்டன் ஏற்படுத்திஞர். இக்கொள்கையின்படி ஒளியானது கண்ணுக்குப் புலப்படா நுண்ணிய துகள்களைக் (Corpuscles) கொண்டது. இத் துகள்கள் துப்பாக்கியொன்றிலிருந்து தொடர்ந்து வெளியேறும் குண்டுகளைப் போன்று மிக அதிக வேகத்தில் ஒளி மூலத்திலிருந்து வெளிப்படுகின்றன. அவை மிகுதியான வேகம் கொண்டவையாதலால் ஈர்ப்பு விசை போன்ற புறவிசைகளால் தடைபடாமல் நேர்க்கோட்டில் பரவுகின்றன. இத் துகள்கள் கண்ணின் பாவை வழியாகச் சென்று விழித்திரைமீது ஏற்படுத்தும் தாக்குதலால் பார்வை உணர்வு ஏற்படுகின்றது. மேலும் இத் துகள்கள் வேறுபட்ட பரிமாணங்களைக் (Dimensions) கொண்டவையாக உள்ளமையாலேயே ஒளி பல நிறங்களைக் கொண்டிருக்கிறது. இவ்வாறு நியூட்டன் துகட் கொள்கையைக் கொடுத்தார்.

13.3. நுகட் கொள்கைமூலம் எதிரொளிப்பிற்கான விளக்கம்

படம் 13.1-ல் SS' என்பதை எதிரொளிக்கும் பரப்பெனக் கொள்வோம். எதிரொளிக்கும் பரப்பிலிருந்து வெகு அருகில் அமைந்துள்ள AB என்ற நிலைவரை எதிர்விசையொன்று அப் பரப்பிற்குக் குத்தாகச் செயல்படுகின்றதென நியூட்டன் கொண்டார். இதன்படி படுகதிரின் திசையை IM எனக் கொண்டால், துகளானது M-ஐ அடைந்தவுடன் எதிர்விசையொன்றுக்கு உள்ளாகின்றது.



படம் 13.1

துகளானது M-ல் இருப்பதாகவும், அதன் திசை வேகம் 'v' எனவும் கொள்வோம். படுகோணத்தை 'i' எனக் கொண்டால், துகளின் திசைவேகத்தை எதிரொளிக்கும் பரப்பிற்கு இணையாகவும், குத்தாகவும் இரண்டு ஆக்கக்கூறுகளாகப் பிரிவீடு செய்யலாம். இதனால் இணையான திசையில் '$v \sin i$'யும், குத்துதிசையில் '$v \cos i$'யும் செயல்படுகின்றன. துகள் AB-க்கும் SS'-க்கும் இடைப்பட்ட பகுதியில் இயங்கும்பொழுது குத்துதிசையில் அமையும் $v \cos i$-யின் மதிப்பானது எதிர்விசை செயல்படுவதனால் குறைந்துகொண்டே வந்து O-வை நெருங்கும் பொழுது சுழியாகிறது. ஆனால், இணைதிசையில் செயல்படும் $v \sin i$-யின் மதிப்பு மாறுதலொன்றுக அமைகிறது. எனவே, துகள் O-வில் இருக்கும் பொழுதும் அதன் மதிப்பு $v \sin i$ ஆகவே உள்ளது. இதனால் துகளானது எதிர்ப்புறமாக இழுக்கப்பட்டு இயங்குகின்றது. புள்ளி O-விலிருந்து பரப்பைவிட்டு எதிர்ப்புறமாக இயங்கும் பொழுது குத்து திசையில் அமையும் திசைவேக மதிப்பு அதிகரிக்கத் துவங்குகின்றது. இந்த அதிகரிப்பு ABயின் மீதுள்ள N என்ற புள்ளியை அடையும்வரை ஏற்படுகின்றது. N-க்கு அப்பால்

துகளானது எவ்வித எதிர்விசைக்கும் உட்படாமையால் சீரான திசை வேகம் 'v'-யுடன் NR என்னும் நேர்க்கோட்டுத் திசையில் இயங்குகின்றது.

துகளின் பாதை முழுவதிலும் பரப்பிற்கு இணையான திசையில் செயல்படும் $v \sin i$-ன் மதிப்பு மாறுதலொன்றுமின்றி இருக்கும். எனவே, எதிரொளிப்புக் கோணத்தை 'r' எனக் கொண்டால், இணைதிசையில் அமையும் பகுதியின் மதிப்பு '$v \sin r$' ஆகவும், குத்துதிசையில் '$v \cos r$' ஆகவும் இருக்கும். இதனால் NR திசையில் துகளின் திசைவேகம் 'v' ஆகவே இருக்கும்.

மாறாமல் இணை திசையில் அமையும் இந்த மதிப்புகளை சமன் செய்ய,

$$v \sin i = v \sin r$$

அல்லது $\sin i = \sin r$

அல்லது $i = r$ ஆகும்.

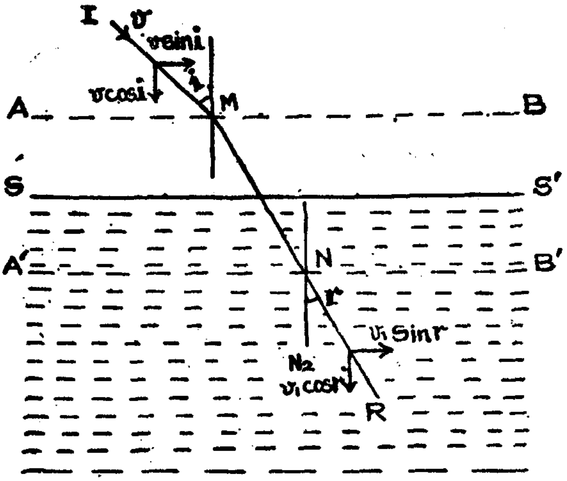
அதாவது படுகோணம், எதிரொளிப்புக் கோணத்திற்குச் சமமாகும்.

13.4. துகட் கொள்கைமூலம் ஒளிவிலகலுக்கான விளக்கம்

ஒளி ஊடகம் மாறும்பொழுது ஒளிக்கதிர் விலகல் அடைகின்றது. ஒளிவிலகலை உண்டாக்கும் அடர்வுமிகு ஊடகத்தின் பரப்பிற்கு வெகு அருகில் அமையும் குறுகிய பகுதியினுள் துகள் வரும்பொழுது, குத்து திசையில் அமையும் இழுவிசையொன்றுக்கு அத் துகள் உள்ளாகின்றதெனக்கொண்டு நியூட்டன் ஒளிவிலகலை விளக்கினார். இதன்படி படம் 13.2-ல் SS' என்பது பிரிதளம் (Surface of Separation) ஆகும். AB என்பது பிரிதளத்திற்கு மிக அருகில் அமையும் வெளி ஆகும். இந்தத் தளம் AB-க்கும் SS'-க்கும் இடையே துகள் வரும்பொழுது இழுவிசைக்கு உள்ளாக்கப்படுகின்றது. இந்த இழுவிசை ஊடகத்தினுள்ளும் $A'B'$ வரையிலும் இருக்கின்றது.

IM என்பது முதல் ஊடகத்தில் துகளின் பாதை எனக் கொள்வோம். மேலும் துகளானது 'v' திசை வேகத்துடனும் 'i' படுகோணத்திலும் படுகின்றது எனக்கொள்வோம். துகள் M-ல் இருக்கும்பொழுது அதன் திசைவேகம் 'v' யை, விலகல் பரப்பிற்கு இணையான திசையிலும், நேர்க்குத்து திசையிலும் பிரிவீடு செய்ய

அமையும் பகுதிகளை முறையே '$v \sin i$' '$v \cos i$' எனக் கொள்வோம். இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் துகள் வரும்பொழுது,



படம் 13.2

இணைதிசையில் அமையும் பகுதியான '$v \sin i$' எவ்வித மாறுதலும் அடையாது. ஆனால், குத்துதிசையில் அமையும் பகுதியான '$v \cos i$'-ன் மதிப்பு இழுவிசையினால் அதிகரிக்கின்றது. இவ்வாறு அதிகரிக்கும் அளவு படுகோணத்தைச் சார்ந்து அமையாமல், அடர்வுமிகு ஊடகத்தைப் பொறுத்து அமைகின்றது. படம் 13.2-ல் துகளானது N-ஐ அடையும்வரை இந்த அதிகரிப்பு ஏற்படும். அதன் பின்னர் பிரிதளத்தினால் துகளின் பாதையில் எவ்வித விலகலும் ஏற்படாது. இதன் பின்னர் துகள் இயங்கும் திசையான NR-க்கு விலகு கதிர் என்று பெயர். N-ல் துகளின் திசைவேகமே இரண்டாவது ஊடகத்தில் துகளின் திசைவேகம் ஆகும். இந்தத் திசை வேகத்தை v_1 எனக் கொள்வோம். N-ல் வரையப்படும் குத்துக்கோடு NN_2-வுடன் NR ஏற்படுத்தும் கோணம் 'r', விலகல் கோணமாகும். NR திசையில் அமையும் 'v_1'-ஐப் பிரிவிடு செய்ய, விலகல் பரப்புக்கு இணைதிசையில் $v_1 \sin r$-ம் குத்துதிசையில் $v_1 \cos r$-ம் அமைகின்றன.

துகளானது முதல் ஊடகத்தில் இருக்கும்பொழுதும் இரண்டாவது ஊடகத்திலிருக்கும் பொழுதும், பிரிதளத்திற்கு இணைதிசையில் அமையும் பகுதியில் எவ்வித மாற்றமும் ஏற்படாது.

எனவே

$$v \sin i = v_1 \sin r$$

அல்லது

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v} \quad \ldots (1)$$

$$= \frac{\text{இரண்டாம் ஊடகத்தில் ஒளியின் திசைவேகம்}}{\text{முதல் ஊடகத்தில் ஒளியின் திசைவேகம்}}$$

$$= \frac{a\mu_2}{a\mu_1}$$

$= 1\mu_2$ ஆகும்.

இந்த இரண்டாவது ஊடகமானது முதல் ஊடகத்தைவிட அடர்வு மிகுந்தது. எனவே, விலகு கதிரானது குத்துக்கோட்டை நோக்கி வளைகின்றது. இதனால் விலகு கோணம் 'r', படுகோணம் i-ஐவிடச் சிறியதாகும்.

எனவே,

$$\sin r < \sin i$$

ஆகையால்,

$$\frac{\sin i}{\sin r} > 1 \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, சமன்பாடு 1-ன்படி

$\frac{v_1}{v} > 1$ ஆகும். அல்லது v_1, v-ஐவிடப் பெரியதாகும் ஆகவே, துகட் கொள்கைப்படி அடர்வுமிகு ஊடகத்தில் அமையும் ஒளியின் திசைவேகமானது அடர்வுகுறை ஊடகத்தைவிட அதிகமானது என்பதாகும்.

ஃபோகால்ட் என்பவர் சுழலும் ஆடி முறையில் ஒளியின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட்டார். அவரது கருவியினைக் கொண்டு மைக்கேல்சன் நீரிலும் காற்றிலும் ஒளியின் திசைவேகங்களைக் கண்டார். நீரில் ஒளியின் திசைவேகம் காற்றைவிடக் குறைவானது என்று கணக்கிடப்பட்டது. இம் முடிவானது துகட் கொள்கைக்கு எதிராக அமைந்தது. இது மட்டுமேயல்லாமல் 1801ஆம் ஆண்டில் யங் (Young) கண்டுபிடித்து ஆய்வின் மூலம் செய்து காட்டிய ஒளிக்குறுக்கீட்டை (Interference) இக் கொள்கையினால் விளக்க இயலவில்லை. ஒரே நேரத்தில் நிகழும் எதிரொளிப்பு, ஒளி விலகல் ஆகியவற்றை விளக்க முற்பட்ட நியூட்டன்

சில துகள்கள் எதிரொளிப்புக்கு உகந்த நிலையிலும், சில ஊடுருவலுக்கு உகந்த நிலையிலும் இருப்பதாகக் கொண்டார். மேலும் 19ஆம் நூற்றாண்டில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட விளிம்பு விளைவு (Diffraction), தளவிளைவு (Polarisation) போன்றவைகளுக்கு இக் கொள்கையின் மூலம் எவ்விதமான விளக்கங்களும் தர இயலவில்லை. இக் காரணங்களால் நியூட்டனின் துகட் கொள்கை ஏற்றுக் கொள்ள முடியாததொன்றாக அமைந்தது. இருப்பினும், அக் காலத்தில் நியூட்டனுக்கு இருந்த பெருமதிப்பின் காரணமாகவும், ஒளிக் குறுக்கீடு, விளிம்பு விளைவு, தள விளைவு ஆகியவை பிற்காலக் கண்டுபிடிப்புகளேயாதலாலும், கிட்டத்தட்ட இரண்டு நூற்றாண்டுகளுக்குத் துகட் கொள்கையே ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டதாக இருந்தது.

வினாக்கள்

1. நியூட்டனின் துகட் கொள்கையை விளக்கு. இக்கொள்கை மூலம் ஒளி எதிரொளிப்பு, விலகல் ஆகியவைகளுக்கான விளக்கங்களைக் கொடுக்கவும்.

14. அலை இயக்கமும் அலைக்கொள்கையும்

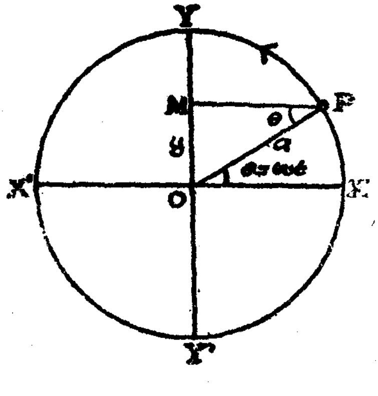
14.1. அலைக்கொள்கை — முன்னுரை

ஒளி குறுக்கீடு, விளிம்பு விளைவு, தளவிளைவு போன்றவைகளை விளக்குவதற்குத் துகட் கொள்கையினின்று முற்றிலும் மாறுபட்ட நிலையில் அமையும் கொள்கையொன்று தேவைப்பட்டது. பொருள் ஒன்றின் இயக்கத்தினால் ஆற்றல் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்கு மாற்றப்படுவதற்கு ஏதுவாக அமைவது அலை இயக்கமேயாகும். நியூட்டன் காலத்திலேயே ஒளியானது ஒரு வகை அலை இயக்கம் என்ற எண்ணம் வலுத்துக்கொண்டுவந்தது. ஹாய்ஜன் (Huyghen) என்னும் டச்சு விஞ்ஞானி 1679ஆம் ஆண்டில் ஒளியின் அலைக்கொள்கையை எடுத்துரைத்தார். இக்கொள்கையின்படி ஒளியும், ஒலியினைப் போன்று அலைவடிவில் பரவுகின்றது என்பதாம். அப்படி அலைவடிவில் பரவ வேண்டுமெனில் ஊடகம் ஒன்று தேவை. ஆனால், ஒளியானது சூரியனிடமிருந்தும் விண்மீன்களினின்றும் வெற்றிடத்தின் மூலமே பூமியை அடைகின்றது என்பது தெரிந்ததொன்று. ஆகவே, ஒளியானது வெற்றிடத்திலும் பரவுகின்றது என்பது தெளிவு. ஆக ஒளி, அலை வடிவில் பரவ ஊடகம் ஒன்றை ஏற்படுத்தல் வேண்டும். இவ்வாறான நிலையில் ஹாய்ஜன் ஏற்படுத்திக்கொண்ட ஊடகமே ஈதர் (Ether) என்னும் கற்பித ஊடகமாகும். அவர் எண்ணப்படி, இவ்வூடகம் எங்கும் பரவியுள்ளதொன்றாகும். இவ்வூடகமானது அடர்வு குறைந்ததாகும். ஒளி படைத்த பொருளொன்றிலிருந்து ஒளி பரப்பப்படும்பொழுது ஏற்படும் அதிர்வுகள் எல்லாத் திசைகளிலும் சமஅளவு ஆற்றலுடன் அலைகளாகப் பரப்பப்படுகின்றன. ஆற்றல்மிக்க இவ்வலைகள் கண்ணின் விழித்திரையில் படும்பொழுது பார்வையுணர்வு உண்டாக்கப்படுகிறது. ஹாய்ஜன் எண்ணப்படி இவ்வலைகள் திடப்பொருள்களிலும் திரவப் பொருள்களிலும் உண்டாக்கப்படும் அலைகளை ஒத்தவை. இவை எந்திரவியல் தன்மையைக் கொண்டவை. மேலும், தொடக்க காலத்தில், அலை பரப்பப்படும் திசைக்கு இணையான

திசையில் ஈதர் ஊடகத்திலுள்ள துகள்கள் அதிர்வு கொள்ளு மெனக் கொண்டு இவை நெட்டலைகள் (Longitudinal waves) எனக் கருதப்பட்டன. ஆனால், இக் கற்பித ஊடகமானது எங்கும் பரவியுள்ளமையால் கிரகங்களின் இயக்கம் தடைபடுமெனக் கருத்துத் தெரிவிக்கப்பட்டது. அதற்கு ஹாய்ஜன், ஊடகத்தில் அமையும் துகள்கள் மிக அதிக மீள் சக்தி கொண்டவை எனக் கொண்டு கிரகங்களின் இயக்கம் தடைபடாது என விளக்கம் கூறினர். இவ்வாறு ஒளியினையும் அலையியக்கத்தின் மூலம் பரவச் செய்ய ஏதுவாக ஈதர் ஊடகம் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டது. இதன்மூலம் ஒளி ஆற்றலானது அலைகளின் மூலம் பரப்பப்படு கின்றது எனக் கொண்டு எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல், குவார்ட்ஸ் கால்சைட் போன்ற படிகங்களில் ஏற்படும் இரட்டை ஒளி விலக்கம் ஆகியவற்றை ஹாய்ஜன் ஏற்றுக்கொள்ளும் வகையில் விளக்கினர்.

14.2. சீரிசை இயக்கம்

ஹாய்ஜன் இயற்றிய அலைக் கொள்கையைத் தெளிவுபடப் புரிந்துகொள்ள சீரிசை இயக்கமொன்றின் பண்புகளைப்பற்றியும் இரண்டு அல்லது மேற்பட்ட சீரிசை இயக்கங்களைத் தொகுத்தல் பற்றியும் தெளிவுபடத் தெரிந்திருத்தல் அவசியமானது. இதற்கு வட்டப் பரிதியொன்றின்மீது சீரான திசை வேகத்துடன் செல்லும் துகள் ஒன்றினைக் கருதுவோம்.



படம் 14.1

படம் 14.1-ல் துகள் P ஆனது 'ω' அளவு சீரான கோணத் திசை வேகத்துடன் வட்டப் பரிதியின் மீது தொடர்ந்து இயங்குகின்றது எனக் கொள்வோம். துகள் Pயின் நிலையிலிருந்து விட்டம் YOY'-க்கு வரையப்படும் குத்துக்கோடு PM ஆகும். Pயின் நிலை மாறினால், Mஆனது YOY'-ன் மீது இயங்குகின்றது. M-ன் இந்த இயக்கம் சீரிசை இயக்கமாகும். துகள் P-யானது 't' காலத்தில் X-லிருந்து Pஐ அடைந்திருந்தால்,

$$\angle POX = \angle MPO = \theta = \omega t \text{ ஆகும்.}$$

எனவே $\sin\theta = \sin\omega t = \frac{OM}{a}$

அல்லது, இடப்பெயர்ச்சி $OM = y = a \sin \omega t$ ... (1)

இந்தச் சமன்பாடு சீரிசை இயக்கத்தைக் குறிப்பதாகக் கொள்ளலாம். இங்குப் பெரும இடப்பெயர்ச்சி $OY = OY' = a$, வீச்சு எனப்படும். சமன்பாடு (1)-லிருந்து திசைவேகம்

$$\frac{dv}{dt} = a\omega \cos \omega t \qquad \dots (2)$$

துகளின் முடுக்கம், $\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dy}{dt}\right) = -\omega^2 y$ ஆகும்.

அதாவது $\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = O$ ... (3)

இந்தச் சமன்பாடு (3), இயக்கமானது சீரிசை இயக்கமெனக் காட்டுகின்றது.

இந்த இயக்கத்தில் M ஓர் அலைவு செய்யும் காலத்தில் துகள் P வட்டத்தின் பரிதிமேல் ஒருமுறை சுற்றி வருகின்றது. இந்தக் காலத்தில் ஆரவெக்டர் OP, 2π ரேடியன்கள் கோணத்தை வட்ட மையத்தில் ஏற்படுத்துகின்றது. எனவே, அலைவு காலம் T எனில்,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad \dots (4)$$

அல்லது அதிர்வு, $N = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ ... (5)

ஆகும்.

T, N மதிப்புகளில் சீரிசை இயக்கத்திற்கான சமன்பாட்டை எழுதலாம்.

அதாவது,

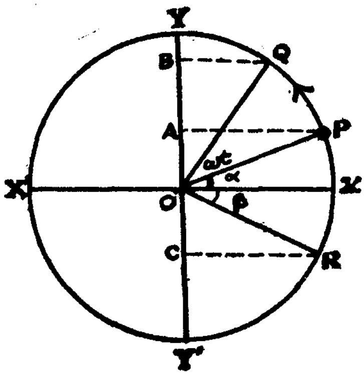
$$y = a \sin \frac{2\pi}{T}\cdot \qquad \dots (6)$$

அல்லது,

$$y = a \sin 2\pi Nt \qquad \dots (7)$$

என்றும் எழுதலாம்.

சமன்பாடுகள் (1), (6), (7) மூன்றும் துகளானது காலம் $t=0$ ஆக இருக்கும் பொழுது O-விலிருந்து துவங்கினால் சரியானவை யாகும். மாறாக படம் 14.2-ல் உள்ளவாறு $t = 0$ ஆக இருக்கும்போது $\angle POX=\alpha$ இருக்கும்படி சீரிசை இயக்கத்துகள் A-யிலிருந்து துவங்கினால் 't' காலத்திற்குப் பிறகு B-யிலிருக்கும். 't' காலத்தில் ஏற்படுத்திய கோணம் 'ωt'.



படம் 14.2

இப்பொழுது இடப்பெயர்ச்சி OB,

$$OB = y = a \sin \angle OQB$$
$$= a \sin \angle QOX$$
$$= a \sin (\omega t + \alpha)$$
$$= a \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + \alpha\right) \quad \ldots (8)$$

ஆகும்.

இதே போன்று $t=0$ ஆக இருக்கும்பொழுது சீரிசை இயக்கத்தில் அமையும் துகள் C-யிலிருந்தால்,

$$y = a \sin \angle QOX$$
$$= a \sin (\angle QOR - \angle XOR)$$
$$= a \sin (\omega t - \beta)$$
$$= a \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot t - \beta\right) \quad \ldots (9)$$

ஆகும்.

சமன்பாடுகள் (6), (8), (9) இவைகளில் முறையே கோணங்கள் $\frac{2\pi t}{T}$, $\left(\frac{2\pi t}{T} + \alpha\right)$, $\left(\frac{2\pi t}{T} - \beta\right)$ ஆகியவை தெரிந்தால் துகளின் நிலையைக் காண முடியும். இக் கோணங்கள் இதனால் கட்டக் கோணங்கள் (Phase angles) எனப்படும். காலம் $t=0$ ஆக இருக்கும்பொழுது இருக்கும் கட்டம் தொடக்கக் கட்டம் (Epoch) எனப்படும். ஆக இதுவரை நாம் பார்த்தது சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள ஒரு துகளினைப்பற்றி ஆகும்.

14.3. அலை இயக்கம்

அலைவுறும் ஒரு துகளானது, ஒருவித மீட்பு விசையுடன் ஒன்றுக்கொன்று பிணைக்கப்பட்டுள்ள ஓர் அமைப்பின் பல துகள்களில் ஒன்று எனக் கொள்வோம். இதனால் அலைவுறும் துகளானது தனது இயக்கத்தை அடுத்தடுத்த துகள்களுக்குக் கொடுக்காமல் தனித்து இயங்க இயலாது. இதேபோன்று இயக்கத்தைப் பெற்ற மற்ற துகள்களும் அவற்றினுக்கடுத்த துகள்களுக்கு இயக்கத்தை ஊட்டுகின்றன. இவ்வாறு அந்த வரிசையில் அமையும் எல்லாத் துகள்களும் இயங்கத் துவங்குகின்றன. அந்த அமைவில் உள்ள எல்லாத் துகள்களும் ஒருமித்தவையாக உள்ளமையால் அவற்றில் ஏற்படும் இயக்கமும், அதிர்வைத் தோற்றுவிக்கும் துகளில் அமைந்ததைப் போன்றே இருக்கும். தோற்றுவாயில் அமையும் துகள் சீரிசை இயக்கத்தில் இருந்தால், அமைவில் உள்ள எல்லாத் துகள்களுமே சீரிசை இயக்கத்திலிருக்கும். இதனால் அவற்றின் அலைவுக் காலமும் சமமாக அமையும்.

இவ்வாறு அமையும் இயக்கத்தினை ஒரு துகளிலிருந்து அடுத்தடுத்த துகள்களுக்குச் செலுத்தக் காலம் ஆகும். ஊடகத்தில் அமையும் மீட்சியுறு விசைகள் வலிமையானவைகளாக இருப்பின் இந்த இயக்கக் கடத்தல் வேகமாக அமையும். இத்துடன் மீட்சியுறு விசைகளின் மதிப்பு மாறாததொன்றாக அமையுமானால், ஏற்பட்ட அதிர்வு பரவும் வேகமும் மாறாததொன்றாக அமையும். இதனால் அதிர்வு தொடங்கும் மூல நிலையில் அமையும் துகளினின்று அதிகரிக்கும் தூரத்தில் ஒரே தொடரில் உள்ள எல்லாத் துகள்களும், அவற்றின் சம நிலையிலிருந்து அடுத்தடுத்து இயங்கத் துவங்குகின்றன. அடுத்தடுத்து இயங்குவதனால் அடுத்தடுத்த துகள்கள் இயங்கத் துவங்கும் காலமும் சீராக அதிகமாகும். எல்லாத் துகள்களும் முதல் துகளின் கட்டத்துடன் இணைந்து இயங்குதல் இயலாது. மாறாக, முதல் துகளின் கட்டத்தினின்று அடுத்தடுத்த துகளின் கட்டம் சீரான முறையில் வேறுபடும். இவ்வாறு ஏற்படும் மாற்றமானது முதல் துகளானது ஒரு முழு அலைவைப் பூர்த்தி செய்யும்வரை ஏற்படும். அலைவு முடிகின்ற நேரத்தில் துகள் தொடரில் மாற்றமடைய வேண்டிய துகள், முதல் துகளின் கட்டத்தினையே கொண்டிருக்கும். இவ்வாறான இயக்கக் கடத்தல், அலை இயக்கம் எனப்படும். ஒரே கட்டத்தில் உள்ள இரண்டு துகள்களுக்கு இடைப்பட்ட தூரம் அலை நீளம் 'λ' எனப்படும். எனவே, முதல் துகள் ஓர் அலைவுக்கு எடுத்துக் கொள்ளும் அலைவு காலம் T எனில் அக் கால அளவில் ஊடகத்தில் அலையானது 'λ' தூரம் பரவுகின்றது.

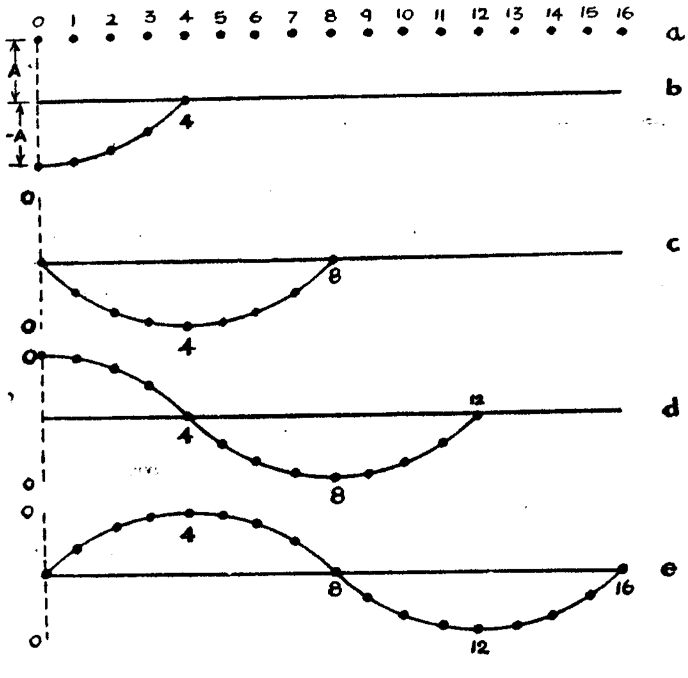
இதனால் பரவும் வேகம் 'v' எனில்

$$\lambda = vT$$

அல்லது $v = \lambda N$ என்றாகும். $\left[\because T = \frac{1}{N}\right]$

இந்தச் சமன்பாடு எல்லா வகையான அலை இயக்கங்களுக்கும் பொருந்தும்.

மேலே கண்ட அலைஇயக்க விளக்கத்தைத் தெளிவாக்குவதற்குப் படம் 14.3-ல் உள்ளவாறு ஒரே தொடரில் அமையும் 1 முதல் 16 வரையுள்ள ஒரே நேர்க்கோட்டின்மீது அமைந்துள்ள துகள்களைக் கருதுவோம். [14.3(a).]



படம் 14.3

0 இலக்கம் கொண்ட துகள், A வீச்சு கொண்ட சீரிசை இயக்கத்திற்கு உட்படுத்தப்படுகின்றது என்று கொள்வோம். படம் 14.3(b)-ல் துகள் 0-வானது அதிகப்படியான கீழ்நோக்கிய இடப் பெயர்ச்சி A கொள்ளும் காலம் $T/4$ எனில், இதே காலத்தில் ஊடகத்தில் 1 முதல் 4 எண் கொண்ட

துகள் வரை இயக்கம் செலுத்தப்படுகின்றது. இதனால் எண் 1 கொண்ட துகள் அதிக இடப்பெயர்ச்சியும் எண் 4 கொண்ட துகள் சிறும இடப் பெயர்ச்சியும் கொண்டிருக்கும். அடுத்த $T/4$ காலத்தில் இயக்கமானது துகள் 8 வரை செலுத்தப் பட்டிருந்தால் முதல் துகள் ($-A$) நிலையிலிருந்து மேல் நோக்கிச் சென்று சமநிலையிலிருக்கும். இப்பொழுதுள்ள இடப்பெயர்ச்சி நிலைகளை மென்மையாக வரை கோட்டின் மூலம் இணைத்தால் படம் 14.3 (c) யில் உள்ளது போன்று இடப் பெயர்ச்சிகள் உண்டாகியிருக்கும். துகள் 0-வானது சமநிலையிலிருக்கும்பொழுது துகள் 4 பெரும் இடப்பெயர்ச்சி கீழ்நோக்கிக் கொண்டிருக் கின்றது. இயக்கமானது துகள் 8 வரை பரவியுள்ளது.

அடுத்த மூன்றுவது கால் அலைவு கால முடிவில், அதாவது $3T/4$-ல், O-வானது மேல்நோக்கிப் பெரும இடப்பெயர்ச்சி கொள்கின்றது. இதே காலத்தில் ஏற்படும் அதிர்வானது 12ஆவது துகள் வரை பரவியுள்ளது. இது 14.3 (d)-ல் காட்டப் பட்டுள்ளவாறு இருக்கும். படம் 14.3 (e) -ல் உள்ளவாறு துகள் O-வானது மீண்டும் சமநிலைக்குத் திரும்பிய பொழுது ஆகி யுள்ள மொத்த காலம் T ஆகும். காலம் $3/4$ T-லிருந்து T ஆவதற்குள் இயக்கம் 16 துகள் வரை பரவுகின்றது. துகள் O-வும் 16ஆவது துகளும் சமநிலையிலும் இடைப்பட்ட துகள்கள் வெவ்வேறு அதிர்வு நிலைகளிலும் உள்ளன. ஆக, ஒவ்வொரு துகளும் O-வினைப் போன்று சீரிசை இயக்கத்தினைக் கொள் கின்றது. ஆனால், ஒவ்வொன்றும் வெவ்வேறு கட்டத்திலுள்ளன.

ஒரே நேரத்தில் இயக்கத்திலிருக்கும் எல்லாத் துகள்களும் ஓர் அலைவடிவைக் கொடுக்கின்றன. இந்த அலை ஊடகத்தின் வழி யாகப் பரப்பப்படுகின்றது. இதனைச் சீரிசை அலை இயக்கம் என்கிறோம். இங்கு அலைவுறும் துகள்கள் இடப்பெயர்ச்சி அடைய வில்லை. மாறாக அலைவடிவம் ஊடகத்தின் வழியாக இயங்கு கின்றது. இந்த அலைவடிவில் துகள் 4 உள்ள நிலை முகடு (Crest) என்றும் துகள் 12 உள்ள நிலை அகடு என்றும் கூறப்படும். முகட் டில் அமையும் துகள் நேர்க்குறி பெரும இடப்பெயர்ச்சியை ($+A$) யும், அகட்டில் அமையும் துகள் எதிர்க்குறி பெரும இடப் பெயர்ச்சி ($-A$)யையும் கொண்டிருப்பது தெளிவு.

படம் 14.3-ல் உள்ளது போன்று துகள்களின் இயக்கமானது அவை சமநிலையில் இருக்கும்பொழுது அமையும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக இருக்குமானல் அந்த அலை குறுக்கலை (Transverse wave) எனப்படும். அலைவுறும் துகள்களின் இயக்கமானது அலை

பரவும் திசைக்கு இணையாகவே அமையுமானுல் அவ்வலை நெட்டலை (Longitudinal wave) எனப்படும். இந்த வகை அலைகள் ஒலி பரவுதலைக் கருதுவதில் தேவையானவை. ஒளி அலைகள் குறுக்கலைகள் மட்டுமே என்பதனுல் நெட்டலைகளைப்பற்றி இங்கு அதிகம் எழுதப்படவில்லை.

14.4. அலைச் சமன்பாடு

ஊடகமொன்றில் அலை பரவும் பொழுது துகள்களின் இயக்கத்தினைப் பொறுத்து அவை அமைகின்றன. நாம் இங்கு அதிர்வுகள் நேர்க் கோடுகளில் உள்ளவாறு சீரிசை இயக்கங்களைக் கொள்ளும் துகள்களைக் கருதுவோம். இவ்வாறு உண்டாக்கப்படும் அலை, சீரிசை இயக்க அலை ஆகும். இதன் அமைவு ஒரு சைன் வளைகோடு. அலை முன்னேக்கிப் பரவும்பொழுது, சைன் வளைகோடு வடிவ மாற்றமில்லாமல் முன்னேக்கி இயங்குவது போல் தோன்றுகின்றது. இதற்கு உதாரணமாக நீர்ப்பரப்பின் மீது ஏற்படும் அலைகளைக் கூறலாம்.

இந்த அலை இயக்கமானது இரண்டு வகை மடக்கு நிலைகளைக் (Periodicity) கொண்டுள்ளது. இயக்கத்திலுள்ள ஒவ்வொரு துகளும் குறிப்பிட்ட கால இடைவெளிக்குப் பின்னர் மீண்டும்மீண்டும் ஒரு நிலையைப் பெறுகின்றது. அத்துடன் முகடு அல்லது அகடு, குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் அத்துகளின் வழியாகக் கடந்து செல்கின்றது. இதே நேரத்தில் அலை பரவும் வெளியில் (In space) முகடுகளும் அகடுகளும் சம இடைவெளிகளில் அமைந்து தோன்றுகின்றன. இதனுல் λ, 2λ, 3λ,...... அளவு இடைவெளிகளில் அமையும் துகள்கள் சம கட்டத்திலுள்ளன.

ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் சீரிசை இயக்கத்திலுள்ள துகளின் இடப்பெயர்ச்சியை,

$$y = a \sin \omega t = a \sin 2\pi \frac{t}{T} \qquad \ldots (1)$$

என்று எழுதலாம். அலை பரவும் திசை வேகம் 'v' என்றும், தோற்றுவாயில் அமையும் துகளினின்று x_1, x_2, x_3,...... தூரத்தில் அமையும் துகள்கள் வரை இயக்கம் பரவ ஆகும் காலம் முறையே t_1, t_2, t_3,... என்றும் கொண்டால் அத் துகள்கள் அடையும் இடப் பெயர்ச்சிக்கான சமன்பாடுகளை

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{T}(t - t_1) \qquad \ldots (2)$$

$$y_2 = a \sin \frac{2\pi}{T}(t - t_2)$$

$$y_3 = a \sin \frac{2\pi}{T}(t - t_3)$$

என எழுதலாம்.

சமன்பாடு 2-ல் $t_1 = \frac{x_1}{v}$ என்று பதிலீடு செய்ய,

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x_1}{v}\right)$$

$$= a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{Tv}\right)$$

$$= a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right) \quad \text{———(3)}$$

$$\left(\because\ v = n\lambda;\ n = \frac{1}{T}\ \therefore\ vT = \lambda\right)$$

என்றாகும்.

சமன்பாடு 3-ஐ பொதுமையான முறையில் எழுத,

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \quad \text{———(4)}$$

என்றாகும். இதுதான் அலை இயக்கத்திற்கான பொதுவான சமன்பாடாகும். மேலும் சமன்பாடு 4-ஐ $T = \frac{\lambda}{v}$, $\lambda = vT$ என்னும் மதிப்புகளைப் பயன்படுத்தி, முறையே

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}\left(vt - x\right) \quad \text{———(5)}$$

$$y = a \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v}\right) \quad \text{———(6)}$$

எனவும் எழுதலாம். சமன்பாடுகள் 4, 5, 6 இவைகளில் ஏதாவது ஒரு முறையில் அலை இயக்கத்தைக் குறிப்பிடலாம். இந்தச் சமன்பாடுகள் காலம் 't', வெளியில் அமையும் அளவு 'x' இவற்றில் அமையும் மடக்கு நிலைகளைக் கொடுக்கின்றன.

14. 5 கட்ட வேறுபாடு :

அலைச் சமன்பாடு $y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$-ல் $2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$ அலையின் கட்டம் எனப்படும். அலையின் மீது x_1, x_2 என்னும் இரண்டு புள்ளிகளை எடுத்துக் கொள்வோம்.

எந்த ஒரு கணத்திலும் இந்த இரண்டு புள்ளிகளிலும் அமையும் கட்டங்களுக்கிடையேயான வேறுபாடு δ கோணம் எனில்,

$$\delta = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right) - 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right)$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1) \qquad \text{——(1)}$$

இதிலுள்ள $(x_2 - x_1)$, அலையானது x_1-இலிருந்து x_2-க்குச் செல்ல கடக்க வேண்டிய பாதையாகும். இது பாதை வேறுபாடு (Path difference) எனப்படும். எனவே கட்ட வேறுபாட்டைக் காண, பாதை வேறுபாட்டை $\frac{2\pi}{\lambda}$-ஆல் பெருக்க வேண்டும் என்பது தெளிவு.

மேலும் $vT = \lambda$ ஆதலால்,

$$\delta = \frac{2\pi}{T}\left(\frac{x_2 - x_1}{v}\right) \text{ என்றும் எழுதலாம்.}$$

ஆனால் $\frac{x_2 - x_1}{v}$ ஆனது, அலையானது x_1-இலிருந்து x_2-க்கு பரவ எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் 't'க்குச் சமமாகும். எனவே ஆகும் காலம் 't'-யை $\frac{2\pi}{T}$-ஆல் பெருக்கியும் δ-வைக் காணலாம். அதாவது

$$\delta = \frac{2\pi}{T}\, t \qquad \text{——(2)}$$

வெவ்வேறு ஊடகங்களில் அலை அடுத்தடுத்துப் பரவும் போது சமன்பாடு 2-ல் உள்ள வகையில், கட்ட வேறுபாட்டைக் கணக்கிடுதல் மிகவும் பொருத்தமானதாகும். ஏனெனில் வேறுபட்ட ஊடகங்களில் பரவும்பொழுது λ-வின் மதிப்பு மாறுபடுவதனால் $\frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)$ என்று கட்டத்தைக் கணக்கிடல் முறையற்றது ஆகும். ஆனால் வெவ்வேறு ஊடகங்களில் ஒளியின் திசைவேக மதிப்பு தெரிந்தால் ஒவ்வொன்றிலும் அலை பரவ ஆகுங்காலங்களைக் கொண்டு மொத்தம் ஆகும் காலம் 't'-யைக் கணக்கிடலாம். எனவே x_1-க்கும் x_2-க்கும் இடைப்பட்ட கட்ட வேறுபாட்டை $\delta = \frac{2\pi}{T}t$ மூலம் கணக்கிடலாம்.

14. 6. ஒரே நேர்க் கோட்டில் அமையும் இரு சீரிசை இயக்கங்களைத் தொகுத்தல் :

நேர்க் கோட்டில் அமையும் இரண்டு சீரிசை இயக்கங்களை

$$y_1 = a_1 \sin(\omega t - \alpha_1) \qquad \text{———(1)}$$

$$y_2 = a_2 \sin(\omega t - \alpha_2) \qquad \text{———(2)}$$

என்னும் சமன்பாடுகள் குறிக்கின்றன எனக் கொள்வோம். இங்கு y_1, y_2 என்பவை இடப் பெயர்ச்சிகள்; a_1, a_2 என்பவை வீச்சுகள், α_1, α_2 என்பவை அவற்றின் தொடக்கக் கட்டங்கள் எனவும் கொள்வோம். இவையிரண்டின் அதிர்வு எண்கள் ஒன்றே என்பதனால் கோணத்திசைவேகம் 'ω' சமமாக இருக்கும். இந்த இரண்டு சீரிசை இயக்கங்களும் ஒரே நேரத்தில் பரவுவதால், துகளொன்று அடையும் இடப் பெயர்ச்சியினை Y எனக் கொள்வோம்.

$$\begin{aligned} Y &= y_1 + y_2 \\ &= a_1 \sin(\omega t - \alpha_1) + a_2 \sin(\omega t - \alpha_2) \\ &= a_1 [\sin \omega t \cos \alpha_1 - \cos \omega t \sin \alpha_1] \\ &\quad + a_2 [\sin \omega t \cos \alpha_2 - \cos \omega t \sin \alpha_2] \\ &= (a_1 \cos \alpha_1 + a_2 \cos \alpha_2) \sin \omega t \\ &\quad - (a_1 \sin \alpha_1 + a_2 \sin \alpha_2) \cos \omega t \qquad \text{———(3)} \end{aligned}$$

இங்கு வீச்சுகள் முறையே a_1, a_2 கோணங்கள் α_1, α_2, ஆகியவை மாறிலிகள். எனவே சமன்பாடு 3-இல் $\sin \omega t$, $\cos \omega t$ இவற்றின் குணகங்களை (Coefficients) முறையே $A \cos \varnothing$; $A \sin \varnothing$ என்கின்ற மதிப்புகளால் குறிப்பிடலாம்.

எனவே

$$A \cos \varnothing = a_1 \cos \alpha_1 + a_2 \cos \alpha_2 \qquad \text{———(4)}$$

$$A \sin \varnothing = a_1 \sin \alpha_1 + a_2 \sin \alpha_2 \qquad \text{———(5)}$$

சமன்பாடு 4, 5, இவைகளின் இருமடிகளைக் கணக்கிட்டு, கூட்ட

$$\begin{aligned} A^2 (\cos^2 \varnothing + \sin^2 \varnothing) &= a_1^2 . (\sin^2 \alpha_1 + \cos^2 \alpha_1) \\ &\quad + a_2^2 (\sin^2 \alpha_2 + \cos^2 \alpha_2) \\ &\quad + 2a_1 a_2 (\cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + \sin \alpha_1 \sin \alpha_2) \end{aligned}$$

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \qquad \text{———(6)}$$

சமன்பாடு 5-ஐ சமன்பாடு 4-ஆல் வகுக்க,

$$\tan \varnothing = \frac{a_1 \sin \alpha_1 + a_2 \sin \alpha_2}{a_1 \cos \alpha_1 + a_2 \cos \alpha_2} \qquad \text{———(7)}$$

ஆகும்.

சமன்பாடுகள் 3, 4, 5 இவைகளினின்று

$$Y = A\cos\varnothing \ \sin\omega t - A\sin\varnothing\cos\omega t$$

$$= A\sin(\omega t - \varnothing) \qquad \text{———}(8)$$

என்று எழுதலாம். எனவே தொகுக்கப்பட்ட சீரிசை இயக்கத்தின் வீச்சு A, தொடக்கக் கட்டம் $\varnothing$ ஆகும். சமன்பாடுகள் 6, 7 முறையே A, $\varnothing$ இவற்றின் மதிப்புக்களைக் கொடுக்கின்றன. சமன்பாடு 8-இலிருந்து தொகுபயன் சீரிசை இயக்கம், மூலசீரிசை இயக்கங்களைப் போன்றே இருப்பதுடன், அதன் அலைவு காலமும் மூல இயக்கங்களின் அலைவு காலத்தையே கொண்டுள்ளது. ஆக தொகுபயனும் ஒரு சீரிசை இயக்கமாகும்.

சிறப்பு நேர்வு :

$\alpha_1 = \alpha_2$ எனில்

$$A = a_1 + a_2, \quad \varnothing = \alpha$$

$\therefore\ Y = (a_1 + a_2)\sin(\omega t - \alpha)$ ஆகும்.

14. 7 ஒன்றுக்கொன்று குத்தாகச் செயல்படும் சீரிசை இயக்கங்களைத் தொகுத்தல் :

ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் துகள் ஒன்றின் மீது ஒன்றுக்கொன்று குத்தாகச் செயல்படும் இரண்டு சீரிசை இயக்கங்கள் ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்சிகளை,

$$x = a\sin(\omega t + \alpha) \qquad \text{——}(1)$$

$$y = b\sin\omega t \qquad \text{——}(2)$$

என்னும் சமன்பாடுகள் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். இரண்டு இயக்கங்களும் சமகால அளவையும், ஆனால் வெவ்வேறு வீச்சுகளையும் கட்டங்களையும் கொண்டவை.

சமன்பாடு 2-இலிருந்து

$$\left.\begin{aligned} \sin\omega t &= \frac{y}{b} \\ \therefore\ \cos\omega t &= \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \end{aligned}\right\} \qquad \text{———}(3)$$

சமன்பாடு 1-இலிருந்து

$$\frac{x}{a} = \sin(\omega t + \alpha)$$

$$= (\sin\omega t \cos\alpha + \cos\omega t \sin\alpha) \qquad \text{——(4)}$$

சமன்பாடு 4-இல் $\sin\omega t$, $\cos\omega t$ இவற்றின் மதிப்புகளை பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{x}{a} = \left[\frac{y}{b}\cos\alpha + \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}}\sin\alpha\right]$$

அல்லது

$$\frac{x}{a} - \frac{y}{b}\cos\alpha = \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}}\sin\alpha \qquad \text{——(5)}$$

சமன்பாடு 5-இன் இருமடி கண்டால்,

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2}\cos^2\alpha - \frac{2xy}{ab}\cos\alpha$$

$$= \left(1 - \frac{y^2}{b^2}\right)\sin^2\alpha$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2}\left[\sin^2\alpha + \cos^2\alpha\right] - \frac{2xy}{ab}\cos\alpha = \sin^2\alpha$$

$$\therefore \quad \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab}\cos\alpha = \sin^2\alpha \qquad \text{——(6)}$$

இந்தச் சமன்பாடு ஒரு நீள் வட்டத்தை (Ellipse)க் குறிக்கின்றது. எனவே குத்து திசையில் அமையும் இரண்டு சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பினால் துகள் அமையும் இடப்பெயர்ச்சி சமன்பாடு 6-ஆல் கொடுக்கப்படும் வளைக்கோட்டின் மீது அமையும்.

சிறப்பு நேர்வுகள் :

நேர்வு (i)

$\alpha = 0$ அல்லது 2π எனில்,

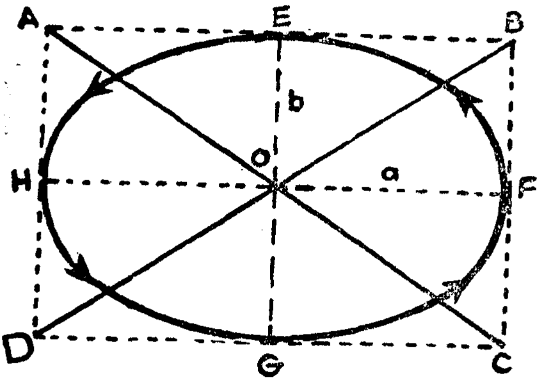
$\cos\alpha = 1, \ \sin\alpha = 0$

எனவே $\dfrac{x^2}{a^2} + \dfrac{y^2}{b^2} - \dfrac{2xv}{ab} = 0$ அல்லது

$$\frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 0$$

$$y = \frac{b}{a}x \qquad \text{——(7)}$$

படம் 14.4-ல், நேர்க்கோடு BD தான் சமன்பாடு 7-ஆல் குறிக்கப்படுகிறது. எனவே துகளானது BD என்ற நேர்க்கோட்டில் சீரிசை இயக்கத்திலிருக்கும்.



படம் 14.4

நேர்வு (ii)

$$\alpha = \pi \text{ எனில்}, \sin\alpha = O, \cos\alpha = -1$$

$$\therefore \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{2xy}{ab} = O$$

$$\left[\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right] = O$$

$$y = -\frac{b}{a}x \qquad \text{——(8)}$$

இச்சமன்பாடு படம் 14.4-இல் AC என்ற நேர்க்கோட்டைக் குறிக்கின்றது. துகள், AC என்னும் நேர்க்கோட்டில் சீரிசை இயக்கத்திலிருக்கும்.

நேர்வு (iii)

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ அல்லது } \frac{3\pi}{2} \text{ எனில்}$$

$$\sin\alpha = 1, \cos\alpha = O$$

$$\text{எனவே } \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

இச்சமன்பாடு a-யை அரை முக்கிய அச்சாகவும், b-யை அரைத் துணை அச்சாகவும் கொண்ட $EFGH$ என்ற நீள்வட்டத்தைக் குறிக்கின்றது.

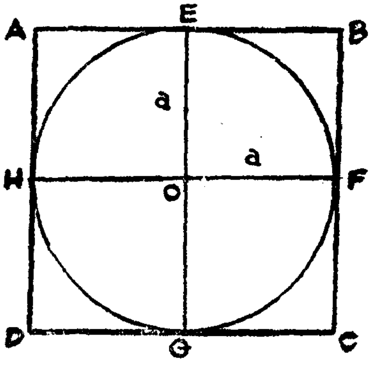
நேர்வு (iv)

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ அல்லது } \frac{3\pi}{2}, \; a = b \text{ எனில்}$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1$$

$$x^2 + y^2 = a^2$$

இச்சமன்பாடு 'a' அளவு ஆரத்தைக் கொண்ட வட்டத்தினை படம் 14.5-ல் காட்டியவாறு குறிக்கின்றது. துகளானது வட்டத்தின் பரிதியின் மேல் அதிர்வுகளைக் கொள்கின்றது.



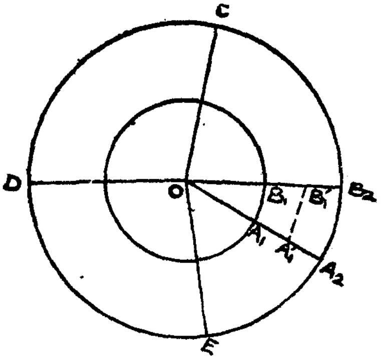
படம் 14.5

14.8 கோள அலைகளும் அலைமுகப்புகளும் :

அலைகள் பரவுதலை இதுவரை இருபரிமாணங்களில் மட்டுமே பார்த்தோம். ஆனால் உண்மையில் ஒளியலை பரவுதலை முப்பரிமாணமுடையதொன்றாகவே கருத வேண்டும். அதிர்வு தொடங்கும் தொடக்க நிலையிலுள்ள துகளுக்கு எல்லா பக்கங்களிலும் அடுத்தடுத்து துகள்கள் உள்ளன. எனவே இத்துகள்களின் மூலம் எல்லா திசைகளிலும் இயக்கமானது செலுத்தப்படுகின்றது. பரவும் ஊடகம் ஒருபடித்தானதாக இருந்தால் அதிர்வானது எல்லா திசைகளிலும் சமநிலை வேகத்துடன் பரவும். இதனால் அதிர்வின் மூலத்தில் உள்ள துகள் O-வினை மையமாகக்கொள்ளும், ஒரு கோளத்தின் பரப்பு மீது அமையும் எல்லா துகள்களுக்கும் இயக்கமானது ஒரே நேரத்தில் வந்தடையும். இந்தக் கோளத்தின் பரப்பு 'கோள அலைமுகப்பு' (Spherical wave front)எனப்படும். அலையானது பரவும்போது இந்தக் கோளம் தொடர்ந்து விரிவடைகின்றது. இவ்வாறு பரவும் அலை, கோள அலை (Spherical wave) எனப்படும்.

படம் 14.6-ல் உள்ளது போன்று இரண்டு அலைமுகப்புகளைக் கருதுவோம். OA_1A_2, OB_1B_2 என்பன அருகருகே அமைந்துள்ள இரண்டு ஆரங்கள் என்போம். கோள அலையானது

முன்னோக்கிப் பரவும் பொழுது A_1B_1 என்னும் அலைமுகப் பின் பகுதி மெதுவாக A_2B_2 நிலைக்குச் செல்கிறது. A_1B_1-க்கும், A_2B_2-க்கும் இடைப்பட்ட அலை முகப்புகளும் (உதாரணம் $A_1'B_1'$) ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவே அமைந்து OA_1A_2 திசையில் பரவுகின்றன. எனவே ஒளி ஒருபடித்தான (Homogeneous) ஊடகத்தில் பரவும் பொழுது கீழ்க்காணுமாறு கூறலாம்:



படம் 14.6

(i) அலை முகப்பானது அதன் வெவ்வேறு நிலைகளில் முந்திய நிலைகளுக்கு இணையாகவே பரவுகின்றது.

(ii) அலைமுகப்பு பரவும் திசையானது. எல்லா நிலைகளிலும் அதற்குக்குத்தாக (Normal) உள்ளது.

ஒரு கதிர் (Ray) என்பதனை அலையின் ஆற்றல் பரவும் திசை என வரையறுக்கலாம். இதன்படி படம் 14.6-இல் உள்ள ஆரக் கோடுகள் OC, OD, OE கதிர்களாகும். அலைமுகப்புக்கு கதிர் பரவும் திசை எப்பொழுதும் குத்தாக இருக்கும். அலை முகப்பு என்பது அலை பரப்பின் ஒரு பகுதி என்பதனைக் காட்டிலும் பரப்பில் அப்பகுதி மீது அமையும் ஊடகத்தின் துகள்கள் எல்லாம் சமகட்டத்திலிருப்பது அவசியமாகும். எனவே அலை முகப்பினை, சமகட்டத்தில் உள்ள புள்ளிகளின் நியமப்பாதை (Locus) என்றே வரையறுக்கலாம். இதனால் ஒன்றையடுத்து ஒன்றாக அமையும் பல கோள அலை முகப்புகளை நாம் கருதுதல் இயலும்.

இக்கோளக அலைகள் நேர்க் கோட்டில் பரவும் அலைகளை ஒத்தவை. ஆனால் ஆற்றல் பரவும் முறையில் மட்டும் இவை ஒன்றுக்கொன்று வேறுபட்டவையாக உள்ளன. நேர்க்கோட்டு அலைகளில் ஆற்றல் ஒரே திசையில் பரவுவதனால், ஒவ்வொரு துகளின் வீச்சும் சமமாக உள்ளது. ஆனால் கோளக அலைகளில், அலை எல்லா திசைகளிலும் பரவும் பொழுது, அதிகப்படியான எண்ணிக்கையிலுள்ள துகள்களுக்கு ஆற்றல் பகிர்ந்தளிக்க வேண்டியிருக்கிறது. எனவே மையத்துகள் O, ஒரு வினாடியில் வெளியிடும் ஆற்றல் E எனில், இதனை கோளத்தின் பரப்பு மீது அமையும் எல்லாத்துகள்களுக்கு இடையேயும் பகிர்ந்தளிக்க வேண்டும். இதனால் மையத்திலிருந்து கோளப் பரப்பு விரிவடையும்போது

வெவ்வேறு துகள்களின் ஆற்றல் குறைந்து கொண்டே செல்கின்றது. அலை பரவும்போது அலையுறும் துகளின் ஆற்றல், அது அமைந்திருக்கும் கோளப் பரப்பின் மீது 1 சதுர செ. மீ. பரப்பில் அமையும் ஆற்றலுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். கோள அலையின் பரப்பு $4\pi r^2$ ஆகும். இதனால் கோளம் விரிவடையும் பொழுது அதன் பரப்பானது r^2-க்கு நேர்விகிதத்தில் அதிகரிக்கின்றது. இதனால் ஒரு குறிப்பிட்ட கோளப் பரப்பின் மீது உள்ள துகளின் ஆற்றல் $\frac{E}{4\pi r^2}$-க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். எனவே துகள் கொள்ளும் ஆற்றல் மையப் புள்ளி O-விலிருந்து அது அமைந்துள்ள தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கும். ஆனால் துகள் கொள்ளும் ஆற்றல் வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். அதாவது, ஆற்றல் $\propto a^2$ ஆகும். எனவே $a^2 \propto \frac{1}{r^2}$ அல்லது $a \propto \frac{1}{r}$ ஆகும்.

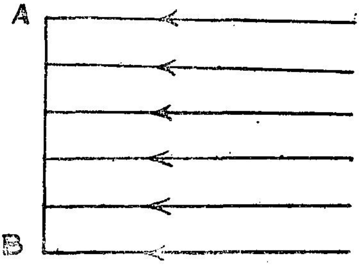
அல்லது $a = \frac{c}{r}$ (c-மாறிலி). இதனால் கோள அலையின் சமன்பாடு :

$$y = \frac{c}{r} \sin 2\pi \cdot \left[\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} \right] \qquad ---(1)$$

ஆகும்.

4. 6. தளஅலைகள் :

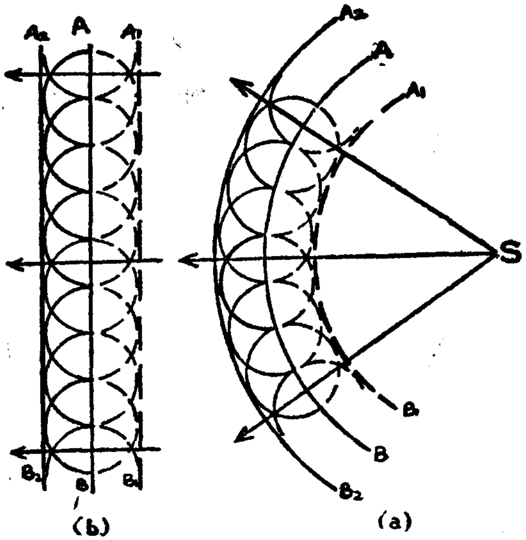
மையத்திலிருந்து அதிக தூரம் பரவியுள்ள ஒரு கோள அலை முகப்பின் ஒரு சிறு பகுதியை தளம் (Plane) போல் இருப்பதாகக் கருதலாம். இந்தச் சிறுபகுதி தள அலை முகப்பு (Plane wave-front) எனப்படும். கோள அலை முகப்புக்கான சமன்பாட்டில் உள்ள வீச்சு $\frac{c}{r}$-இன் மதிப்பு, r-இன் மதிப்பு அதிகமாகும் பொழுது அவ்வளவாக மாறுது. இதனால் r அதிகரிக்கும் பொழுது மாறு வீச்சுக் கொண்ட தள அலை முகப்பு முன்னேறிப் பரவுவதாகக் கொள்ளலாம். படம் 14.7-ல் உள்ளது போன்று AB தள அலை முகப்பு எனில் கதிர்கள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவும் AB-க்கு குத்தாகவும் உள்ளன.



படம் 14.7

14.10 ஹாய்ஜனின் தத்துவம்:

அலை பரவும் பொழுது அலைமுகப்பானது முழுவதுமாக பரவு தலைப் பார்த்தோம். இதனை மேலும் தெளிவாகப் புரிந்து கொள்ளுதற்கு ஹாய்ஜன் ஒரு முறையைக் கொடுத்தார்.



படம் 14.8

படம் 14.8-ல் S-லிருந்து வலமிருந்து இடமாக ஒரு கோளக அலைபரவுவதாகக் கொள்வோம். AB ஒரு அலைமுகப்பு ஆகும். இதனால் AB-யின் மீது அமையும் துகள் ஒவ்வொன்றும் அலை வந்து சேர்ந்தமையால் அக்கணத்தில்தான் அதிர்வுற்றிருக்கும். முன்பு பார்த்தபடி ஊடகத்தில் அமையும் துகள் ஒவ்வொன்றும் எம்முறையில் அதிர்வுற்றிருந்தாலும் சுற்றியுள்ள அடுத்தடுத்த துகள்களுக்கு அதிர்வைப் பரப்புகின்றது. எனவே ஒவ்வொன்றும் அவற்றைச் சுற்றியே ஒரு கோளக அலையை உண்டாக்கிக் கொள்கின்றன. AB என்னும் அலை முகப்பு மையத்தில் அமையும் துகளின் அதிர்வால் உண்டாக்கப்பட்டது எனக் கொள்வோம். AB-யை முக்கிய அலை முகப்பு எனக் கொண்டால் அதன் மீதுள்ள துகள் ஒவ்வொன்றும் அதிர்வு நிலையிலுள்ளது. எனவே ஒவ்வொரு துகளும் ஒரு கோள அலை தோன்ற மூல அதிர்வாக அமையும். இதனால் ஹாய்ஜன் அலை முகப்பு AB-யின் மீதுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஓர் இரண்டாம் நிலை மூலமாக அமைந்து, இரண்டாம் நிலை அலைகளை வெளியிடும் எனக் கொண்டார். AB-யிலிருந்து

குறிப்பிட்ட காலம் 't'-க்குப் பிறகு அலைமுகப்பின் நிலையைக் காண, AB-யின் மீதுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியையும் மையமாகக் கொண்டு, திசைவேகம் v எனில் 'vt' அளவு ஆரத்தில் வட்ட விற்களை படம் 14.8-இல் உள்ளவாறு வரையவும். இந்த விற்கள் அனைத்தையும் ஒரு சீரான தொடுகோடு அமைக்க, அதுதான் புதிய நிலையில் (A_2B_2) அலைமுகப்பாகும்.

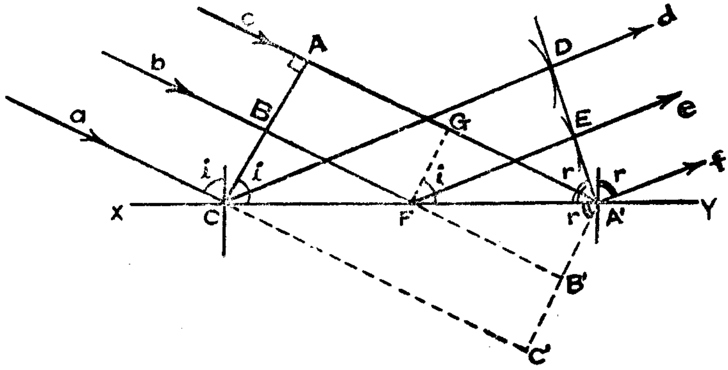
A_2B_2 அலைமுகப்பினைக் காணுகையில் ஹாய்ஜன், AB-யின் நிலைமட்டுமே தெரிந்தால் போதுமெனக் கொண்டார். AB-யின் தோற்றுவாய் பற்றிய குறிப்புகளை தேவையற்றவை எனக் கொண்டார். மாறாக AB-யின் மீதுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் 't' காலத்திற்குப் பிறகு 'vt' தூரம் செல்லுமாறு இரண்டாம் நிலை அலைகளை அதே திசைவேகம் v-யில் பரப்பும் எனக்கொண்டு A_2B_2-வின் நிலையை விளக்கினார். எனவே ஹாய்ஜன் இந்த அமைப்புமுறை புதிய அலைமுகப்பை எளிதில் கொடுக்கின்றது. மேலும், குறிப்பிட்ட நிலையிலுள்ள அலைமுகப்பில் அமையும் ஒவ்வொரு துகளும் ஓர் இரண்டாம்நிலை ஒளி மூலமாக செயல்பட்டு அவை மீண்டும் முன்னேறுகின்ற இரண்டாம் நிலை அலைகளை வெளியிடுகின்றன. இந்த முக்கிய கொள்கையினைக் கொண்டுதான் எதிரொளிப்பு, ஒளிவிலகல் போன்றவை தெளிவுபட விளக்கப்பட்டன. இவற்றைப் பற்றி பின்வரும் பகுதிகளில் காணலாம்.

14.11. சமதளப் பரப்பில் தள அலைமுகப்பின் எதிரொளிப்பு:

முன்பகுதியில் பார்த்தபடி, எதிரொளிக்கும் பரப்பின் மீது அலைமுகப்பு தொடும் ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒரு ஒளி மூலமாகச் செயல்படும். இதனால் அப்புள்ளிகளிலிருந்து இரண்டாம்நிலை அலைகள் மீண்டும் அதே ஊடகத்தில் திருப்பி அனுப்பப்படும். இதனைக் கொண்டு ஹாய்ஜன் எதிரொளிப்பை விளக்கினார்.

படம் 14.9-இல் XY, தாளின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக உள்ள எதிரொளிக்கும் பரப்பு எனவும், a, b, c என்னும் ஒளிக் கதிர்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட படுகோணம் 'i'-இல் இணையாக விழுபவை எனவும் கொள்வோம். ABC என்பது தாளின் தளத்துக்குச் செங்குத்தாக உள்ள தள படு அலைமுகப்பு ஆகும். அந்த அலை முகப்பு எதிரொளிக்கும் பரப்பை நோக்கி 'c' திசைவேகத்துடன் பரவுகின்றது எனக் கொள்வோம். எதிரொளிக்கும் பரப்பு XY இல்லாமல் இருக்குமேயானால் a, b, c என்னும் கதிர்களால் குறிக்கப்பட்டிருக்கும் அலையானது நேர்க்கோட்டில் பரவி, படத்தில் உள்ளதுபோல் கால அளவு 't'க்கும்

பிறகு அலைமுகப்பு $A'B'C'$ என்னும் நிலையை அடைந்திருக்கும். இப்பொழுது $AA' = BB' = CC' = ct$. ஆனால் அலை முகப்பு தொடுவதினால் எதிரொளிக்கும் பரப்பின் மீதுள்ள ஒவ்வொரு



படம் 14.9

புள்ளியும் இரண்டாம் நிலை ஒளி மூலமாக செயல்பட்டு, ஒளிக்கதிர்களை அந்த ஊடகத்தில் திருப்பி அனுப்புகின்றது. இதன்படி ABC என்னும் அலை முகப்பு எதிரொளிக்கும் பரப்பின் மீது C என்ற புள்ளியில் முதலிலும், A' என்ற புள்ளியில் இறுதியாகவும் படுகின்றது. A என்னும் புள்ளியில் உள்ள அலை முகப்பு A'-ஐ தொடுவதற்கு ஆகும் 't' காலத்தில், C-யிலிருந்து புறப்படும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் $AA' = CD = CC' = ct$ என்ற அளவு ஆரத்தைக் கொண்ட கோளத்தின் பரப்பை அடையும்.

எனவே, C-யை மையமாகவும் AA'-ஐ ஆரமாகவும் கொண்டு ஒரு கோளம் வரையவும். A'-ன் வழியாக கோளத்திற்கு தொடுகோடு $A'D'$-ஐ வரையவும்,

எனவே, $CC' = CD$ ஆகும்,

முக்கோணங்கள் CAA', CDA' இவற்றில்

CA' இரண்டுக்கும் பொதுவானது.

$$CD = AA'$$

$$\angle CAA' = \angle CDA = 90^\circ$$

எனவே இரண்டு முக்கோணங்களும் சர்வசம முக்கோணங்கள்.

$$\therefore \angle ACA' = i = \angle CA'D = r$$

$$\therefore i = r$$

எனவே படுகோணம், மீள்கோணத்திற்குச் சமம். படத்தில் $A'D$ எதிரொளிப்பிற்குப் பிறகு கிடைக்கும் தள அலைமுகப்பு ஆகும்.

$A'D$ தான் C-க்கும் A-க்கும் இடையில் விழும் அலைமுகப்பினுடைய எதிரொளிக்கும் அலை முகப்பு எனக் காட்டலாம். இதற்காக படு அலைமுகப்பில் உள்ள B என்னும் புள்ளி, எதிரொளிக்கும் பரப்பின் மீதுள்ள F என்னும் புள்ளியில் படுவதாகக் கொள்வோம். 1-ன் வழியாக AA'-க்கு ஒரு குத்துக்கோடு FG-ஐ வரையவும். இப்பொழுது புள்ளி B, F-க்கு வந்துள்ள காலத்தில் A ஆனது C-க்கு வந்திருக்கும். G ஆனது A' ஐ அடையும் காலத்தில் F என்னும் புள்ளியிலிருந்து புறப்படும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் GA' தூரம் சென்றிருக்கும். எனவே F-ஐ மையமாகவும் $GA' = FB'$-ஐ ஆரமாகவும் கொண்டு ஒரு கோளம் வரையவும். A'-யிலிருந்து தொடுகோடு$A'E$-ஐ வரையவும். முக்கோணங்கள் FGA', FEA' இரண்டும் சர்வ சமபக்க முக்கோணங்கள். எனவே,

$$AA' = AG + GA'$$

ஆனால் $$AG = BF$$

$$GA' = FE$$

$$\therefore AA' = BF + FE$$

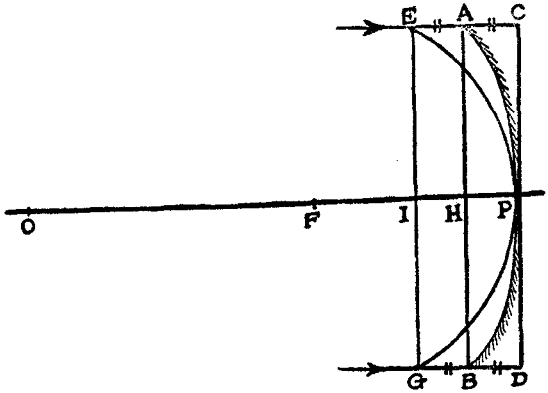
இவ்வாறாக ABC-யின் மேலுள்ள வெவ்வேறு புள்ளிகளிலிருந்து வரும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் $A'ED$-யின் மீது ஒப்புமைப் புள்ளிகளை ஒரே நேரத்தில் அடைகின்றன. எனவே $A'ED$ எதிரொளிப்பு அலைமுகப்பு ஆகும். மேலும், படுகோணமும் மீள்கோணமும் சமம்.

படுகதிர்கள் a, b, c ஆகியவை படுஅலை முகப்பு ABC-க்கு குத்துநிலையிலுள்ளன. மீள் கதிர்கள் d, e, f ஆகியவை எதிரொளித்த அலைமுகப்பு $A'ED$-க்குக் குத்து நிலையிலுள்ளன. படுபுள்ளியில் XY-க்கு வரையப்படும் குத்துக் கோடும் குத்து நிலையில் உள்ளது. ஆனால் படுஅலைமுகப்பு ABC, மீள்அலைமுகப்பு $A'ED$ மற்றும் எதிரொளிக்கும் பரப்பு XY ஆகிய மூன்றும் படம்

வரையப்பட்டுள்ள தாளுக்குக் குத்து நிலையில் உள்ளன. எனவே படுகதிர், மீள்கதிர், படுபுள்ளியில் வரையப்பட்ட குத்துக் கோடு ஆகிய மூன்றும் ஒரே தளத்தில், அதாவது படம் வரையப் பட்டுள்ளத்தாளின் தளத்தில் அமையும்.

இவ்வாறு எதிரொளிப்பு விதிகள் இரண்டும் அலைக் கொள்கையினால் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

14. 12. கோளப் பரப்பில் தள அலைமுகப்பின் எதிரொளிப்பு



படம் 14.10

O-வை வளைவு மையமாகவும், *R* அலகுகள் ஆரமும் கொண்ட ஒரு கோளப் பரப்பு *APB* மீது *AB* என்னும் தள அலை முகப்பு படுவதாகக் கொள்வோம். புள்ளிகள் *A*,*B* இரண்டின் மீதும் ஒரே நேரத்தில் அலைமுகப்பு படுகின்றது. அலை முகப்பு மேலும் முன்னேறிச் செல்லும் பொழுது *P*-க்கு மேலும் கீழும் உள்ள புள்ளிகள் ஒவ்வொன்றின் மீதும் படுகின்றது. அலை முகப்பு தொடும் கடைசிப் புள்ளி *P* ஆகும். அலை முகப்பு *P*-யைத் தொடும் நேரத்தில், *P*-க்கு மேலுள்ள புள்ளிகளில் பட்ட அலை முகப்பு அதே ஊடகத்தில் எதிரொளிக்கப்படும். எனவே *P*-யை அலை முகப்பு தொடும் நேரத்தில் எதிரொளிப்பு அலை முகப்பின் நிலையை பின்வருமாறு காணலாம்.

எதிரொளிக்கும் பரப்பு *AB* இல்லாவிடில் அலைமுகப்பு *CPD* நிலையை அடைந்திருக்கும் அதாவது புள்ளி A-யில் உண்டாக்கப் பட்ட இரண்டாம் நிலை அலை *AC* அளவு ஆரத்தைக் கொண்டதாக இருக்கும். படம் 14.10-ல் $AC = AE$, $BD = BG$ எனில் வட்டவில் *EPG*, எதிரொளிக்கும் பரப்பின் முக்கிய அச்சின்

மீதுள்ள F என்னும் புள்ளியில் குவியும் கோள அலை முகப்பைக் குறிக்கும். அதாவது F, EPG-யின் வளைவுமையமாகும். ஆனால் F, APB என்னும் எதிரொளிக்கும் பரப்பிற்குக் குவியமாகும். இதனால் PF, ஆடியின் குவிய தூரமாகும். படத்தில் APB என்பது, $PO = R$ ஆரத்தைக் கொண்ட வட்டத்தின் சிறிய வட்ட வில் ஆகும். PH அந்த வில்லின் சாகிதா (Sagitta) ஆகும். எனவே வடிவியலின்படி, $AH^2 = 2R.\ PH$

$$\text{அல்லது } R = \frac{AH^2}{2PH} \qquad \text{——(1)}$$

இதே போன்று EPG என்ற வில்லுக்கு

$$AH^2 = 2PF.\ PI$$

$$PF = \frac{AH^2}{2PI}$$

$$PF = \frac{AH^2}{2PI} = f \text{ (சற்றேறக்குறைய)}$$

$$\text{ஆனால் } PI = PH + HI$$

$$= 2PH$$

$$\therefore f = \frac{AH^2}{2.2PH}$$

$$= \frac{1}{2}\left[\frac{AH^2}{2PH}\right] \qquad \text{——(2)}$$

ஆனால் சமன்பாடுகள் 1, 2 இவைகளிலிருந்து

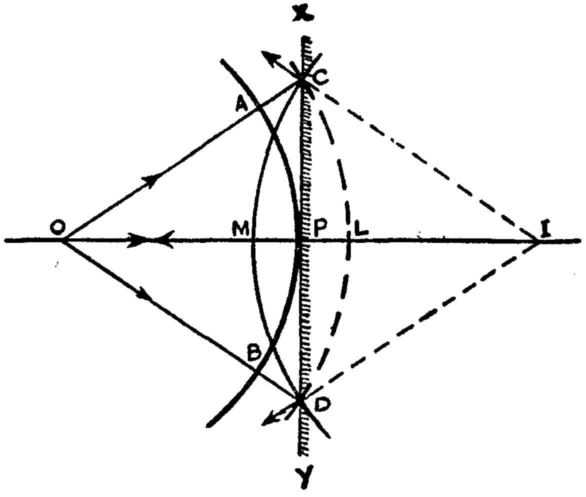
$$f = \frac{R}{2} \text{ என்பது கிடைக்கும்,}$$

இவ்வாறு குழிந்த அலைமுகப்பு AEB ஆனது, கோளக அலைமுகப்பு IIC ஆக எதிரொளிக்கப்படுகின்றது. இந்த அலைமுகப்பின் வளைவு மையம் I ஆக உள்ளது. மேலும் கோளக ஆடியின் குவியத் தூரம், அதன் வளைவு ஆரத்தில் பாதி என்றும் நிரூபிக்க முடிகின்றது.

14. 13. சமதளப் பரப்பில் கோளக அலைமுகப்பின் எதிரொளிப்பு:

XY என்பது எதிரொளிக்கும் சமதளப் பரப்பு எனவும், O என்பது ஆடியினின்று CI தூரத்தில் இருக்கும் புள்ளி ஒளி மூலம் எனவும் கொள்வோம். APB என்னும் படுகோளக அலை முகப்பு எதிரொளிக்கும் பரப்பில் P என்னும் புள்ளியை முதலில் சந்திக்

கின்றது. அலை முகப்பின் மீதுள்ள A, B என்னும் புள்ளிகள் முறையே ஆடியின் மீது C, D புள்ளிகளில் படுவதற்குள் P-யி லிருந்து இரண்டாம் நிலை அலைமுகப்பு எதிர்த்திசையில் $PM = AC = BD$ தூரம் சென்றிருக்கும். எதிரொளிக்கும் பரப்பு XY இல் லாமல் இருந்திருந்தால், அலை முகப்பு PL தூரம் முன்னேறிச்



படம் 14.11

சென்று CLD என்னும் நிலையை அடைந்திருக்கும். மேலும் $PL = PM$. எனவே அதே நேரத்தில் A,B இரண்டிற்கும் இடைப் பட்ட எல்லாப் புள்ளிகளிலிருந்து புறப்படும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் CMD என்னும் எதிரொளிப்பு அலை முகப்பின் மீதுள்ள ஒப்புமைப் புள்ளிகளை (Corresponding points) அடைந்திருக்கும். I தான் CMI-இன் வளைவு மையமாகும். எனவே I தான் C-வின் படிவம். மேலும் படுகோள அலை முகப்பின் வளைவு ஆரமும் எதி ரொளித்த கோள அலைமுகப்பின் வளைவு ஆரமும் சமமாகும்.

CLD என்னும் கோளப் பரப்புக்கு வடிவியலின்படி,

$$PL = \frac{CP^2}{2LO} \qquad \text{——(1)}$$

பரப்பு CMD-ஐக் கருதினால்,

$$MP = \frac{CP^2}{2MI} \qquad \text{——(2)}$$

ஆனால் $PL = MP$

$\therefore$ $LO = MI$

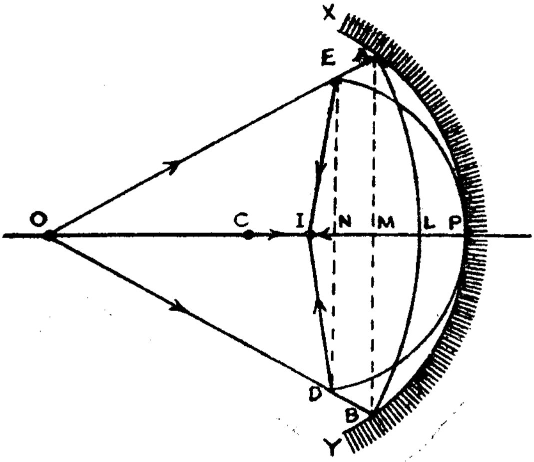
அல்லது $OP + PL = MP + PI$

அதாவது $OP = PI$

எனவே பொருள் ஆடிக்கு முன்னால் இருக்கும் தூரத்திற்குச் சம மான தூரத்தில் ஆடிக்குப் பின்னால் படிவம் உண்டாகின்றது.

14. 14 கோளப் பரப்பில் கோளக அலைமுகப்பின் எதிரொளிப்பு :

XPY என்பது ஓர் எதிரொளிக்கும் குழிப்பரப்பு என்றும், அத னுடைய வளைவு ஆரம் Q எனவும், அதன் வளைவு மையம் C என வும், கொள்வோம். O என்பது ஆடியின் முக்கிய அச்சின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளி ஒளி மூலம். படம் 14.12-இல் ALB என்பது கோளப் பரப்பின் மீது விழும் கோள அலை முகப்பு. இது ஆடி யின் மீது முதலில் A, B என்னும் புள்ளிகளில் படுகின்றது. அலை முகப்பின் மீதுள்ள L, P-யை அடைவதற்குள் A, B இவற்றி



படம் 14.12.

லிருந்து புறப்படும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் $AE = BD = PL$ தூரம் எதிர்த் திசையில் சென்றிருக்கும். எனவே EPD என்பது தான் எதிரொளித்த கோளக அலை முகப்பு ஆகும். I இந்தக் கோளக அலை முகப்பின் வளைவு மையமாகும். எனவே I, O-வினு டைய படிவமாகும். இப்பொழுது $PO = u$, $PI = v$, $PC = R$ எனவும், எதிரொளிக்கும் பரப்பின் வளைவு ஆரமானது ALB என்னும் கோள அலை முகப்பின் வளைவு ஆரத்திற்குக் குறைவு எனவும் கொண்டால்,

$$LM = \frac{AM^2}{2LO} = \frac{AM^2}{2PO} = \frac{AM^2}{2u} \qquad \text{——(1)}$$

கோளகப் பரப்பு EPD-க்கு,

$$PN = \frac{EN^2}{2PI} = \frac{EN^2}{2v} = \frac{AM^2}{2v} \qquad \text{——(2)}$$

$$[\because EN = AM]$$

கோளகப் பரப்பு XPY-க்கு,

$$PM = \frac{AM^2}{2PC} = \frac{AM^2}{2R} \qquad \text{——(3)}$$

மேலும், $PL = AE = MN$ [ஏறத்தாழ]

$$PN = PM + MN = PM + PL$$

$$PN = PM + PM - LM$$

$$\therefore PN + LM = 2PM \qquad \text{——(4)}$$

LM, PN, PM இவைகளின் மதிப்பை சமன்பாடு 4-இல் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{AM^2}{2v} + \frac{AM^2}{2u} = \frac{2AM^2}{2R}$$

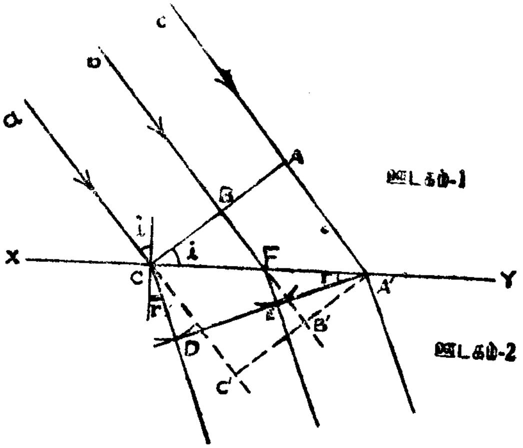
$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f}$$

குழி ஆடி ஆனதால் u, v, f மூன்றும் நேர்க் குறியுடையன. எனவே, $f = \frac{R}{2}$ ஆகும்.

14, 15. சமதளப் பரப்பில் தள அலைமுகப்பின் ஒளிவிலகல்:

படத்தில் XY என்பது தாளின் தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ள இரண்டு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் பிரிதளம். a, b, c என்பன ஒரு குறிப்பிட்ட படுகோணம் i-இல் படும் ஒளிக் கதிர்கள். எனவே இங்கு ABC என்பது தாளின் தளத்திற்குக் குத்துத்தளமாக உள்ள படு அலைமுகப்பு ஆகும். பிரிதளத்திற்கு மேல் உள்ளதை ஊடகம்-1 எனவும், அதில் ஒளியின் திசைவேகம் v_1 எனவும், அதனுடைய ஒளி விலகல் எண் μ_1 எனவும் கொள்வோம். பிரிதளத்திற்குக் கீழ் ஊடகம்-2 எனவும், அதில் ஒளியின் திசைவேகம் v_2 எனவும், அதனுடைய ஒளிவிலகல் எண் μ_2 எனவும் கொள்வோம். ஊடகம்-2, ஊடகம்—1-ஐ விட அடர்வு மிகுந்தது எனக் கொள்வோம். பிரிதளத்தின் மீது படும் ABC என்னும் அலை

முகப்பில் அலைமுகப்பு C-யில் முதலிலும், A என்னும் புள்ளியின் மீது இறுதியாகவும் படுவதாகக் கொள்வோம். ஒளி விலகலை உண்



படம் 14.13

டாக்கும் பரப்பின் மீது அலைமுகப்பு விழுந்தவுடன், ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஒளிமூலமாகச் செயல்பட்டு இரண்டாம் நிலை அலைகளைப் பரப்புகின்றன. அலைமுகப்பின் மீதுள்ள A என்னும் புள்ளி A'-ஐ அடையும் காலம் 't'-இல், C-யிலிருந்து புறப்பட்ட இரண்டாம் நிலை சிறு அலைகள், $CD = v_2t$ தூரம் இரண்டாம் ஊடகத்தினுள் சென்றிருக்கும்.

$$\therefore\ AA' = v_1 t$$

$$CD = v_2 t$$

C-யை மையமாகவும் $CD = v_2t$-யை ஆரமாகவும் கொண்ட ஒரு கோளம் வரையவும். A'-இன் வழியாகக் கோளத்திற்கு $A'D$ என்னும் தொடுகோடு வரையவும். $A'D$ ஒளிவிலகல் அடைந்த தள அலை முகப்பு ஆகும். $A'D$தான் ஒளிவிலகல் அடைந்த அலை முகப்பு என்று நிரூபிக்க, அலைமுகப்பு B-இலிருந்து C-யை அடையவோ அல்லது A-யிலிருந்து D-க்குச் செல்லவோ ஆகும் காலம் t-இல், B-யில் உள்ள அலைமுகப்பு E-யை அடைகின்றது என்று நிரூபித்தால் போதுமானது. F-ஐ மையமாகவும், $A'D$ தொடுகோடாகவும் அமையும்வண்ணம் ஒரு கோளம் வரையவும்.

முக்கோணங்கள் $CA'D$; $FA'E$ இவற்றிலிருந்து,

$$\frac{CD}{FE} = \frac{CA'}{FA'} \qquad \text{——(1)}$$

அதேபோல் முக்கோணங்கள் $CA'C'$, $FA'B'$ இவற்றிலிருந்து,

$$\frac{CC'}{FB'} = \frac{CA'}{FA'} \qquad \text{——(2)}$$

எனவே சமன்பாடுகள் 1, 2 இவற்றிலிருந்து

$$\frac{CD}{FE} = \frac{CC'}{FB'}$$

அல்லது

$$\frac{AA'}{CD} = \frac{FB'}{FE} = \frac{v_1}{v_2}$$

எனவே CD தான், A-யிலிருந்து புறப்பட்ட இரண்டாம்நிலை கோள அலையின் ஆரமெனில், F-இலிருந்து புறப்பட்ட இரண்டாம் நிலை அலையின் ஆரம் FE ஆகும், அதாவது t விநாடிகள் கழித்து இரண்டாம் ஊடகத்தினுள் உள்ள $A'D$ என்னும் விலகல் அடைந்த அலைமுகப்பின் மீது E ஒரு புள்ளியாகும்.

இப்பொழுது படுகோணம் 'i' எனவும் விலகு கோணம் 'r' எனவும் கொண்டால், முக்கோணங்கள் ACA', $CA'D$ இவற்றில்,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AA'}{CA'} \Big/ \frac{CD}{CA'}$$

$$= \frac{AA'}{CD} = \frac{v_1}{v_2} = \mu \text{ (மாறிலி)}$$

இதுதான் ஸ்னெல்லின் இரண்டாவது ஒளிவிலகல் விதி. விகிதம் $\frac{\sin i}{\sin r}$ ஆனது ஊடகம்-1-ஐப் பொறுத்த ஊடகம்2--இன் ஒளி விலகல் எண் ${}^1\mu_2$ ஆகும். ஊடகம்-1 காற்றாகவும் ஊடகம்-2 நீராகவும் இருந்தால் μ-வின் மதிப்பு ஒன்றைவிட அதிகமிருக்கும்.

ஆனால்

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r}; \text{ மேலும் } \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

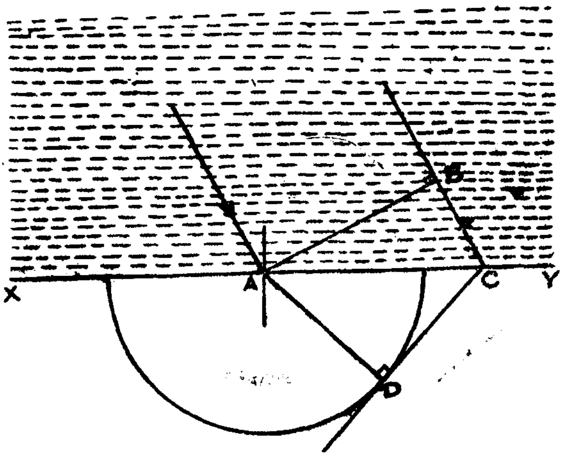
எனவே

$$\mu = \frac{v_1}{v_2} > 1$$

அதாவது காற்றில் ஒளியின் திசை வேகமானது நீரில் அதன் திசை வேகத்தைக் காட்டிலும் அதிகமாக இருக்க வேண்டும். ஆனால் இம்முடிவு துகட்கொள்கைக்கு முற்றிலும் முரண்பாடானது. ஆனால் ஃபோகால்டின் சோதனையின்படி காற்றில் ஒளியின் திசை வேகம், நீரில் அதன் திசை வேகத்தைவிட அதிகம். எனவே அலைக்கொள்கைதான் சரியானது என்று நிறுவப்பட்டது. மேலும், பொதுவாக ஒளியின் திசைவேகமானது அடர்வு குறைந்த ஊடகத்தில் அதிகம் என்பதும், அடர்வு மிகுந்த ஊடகத்தில் குறைவு என்பதும் தெளிவானது.

14. 16 பூரண அக எதிரொளிப்பு:

படம் 14.13-ல் காட்டியுள்ளபடி அடர்வு குறைந்த ஊடகம் — 1-இலிருந்து அடர்வு மிகுந்த ஊடகம் 2-க்கு ஒளிவிலகல் அடையும் பொழுது $CD = v_2 t$ யானது $AA' = v_1 t$-ஐவிடக் குறைவாகவே இருக்கும். ஆனால் $\triangle ACA'$-இல் AA' எப்பொழுதும் CA'-ஐவிடக் குறைந்ததாகும். [அதாவது $\angle CAA'$ ஒரு செங்கோணம்] எனவே, CA' எப்பொழுதும் CD-ஐவிடப் பெரியது. அலைமுகப்பு ABC எந்த கோணத்தில் பிரிதளத்தில் பட்டாலும் A'-இன் வழியாக C-யிலிருந்து புறப்பட்டு ஊடகம்-2-இல் பரவும் கோள



படம் 14.14

இரண்டாம்நிலை அலைக்குத் தொடுகோடு $A'D$-யை வரைய இயலும்.

மாறாக படம் 14.14-இல் உள்ளதைப் போன்று அடர்வுமிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்வு குறைந்த ஊடகத்தை நோக்கி ஒளி விலகல் ஏற்பட்டால்; A-யிலிருந்து அடர்வுதுறை ஊடகத்தில் பரவும் கோளக அலையின் ஆரம் AD $(=v_1t)$ எப்பொழுதும் $BC(=v_2t)$-ஐவிடப் பெரிதாக இருக்கும். ஆனால் $\triangle ABC$-யில் $\angle ABC$ ஒரு செங்கோணம். எனவே AC, BC-ஐவிடப் பெரியது. ஆக AD, AC இரண்டுமே BC-யை விடப் பெரியவை. ஆனால் AD, AC இவற்றினிடையே,

(i) AD, AC-ஐவிடச் சிறியது,

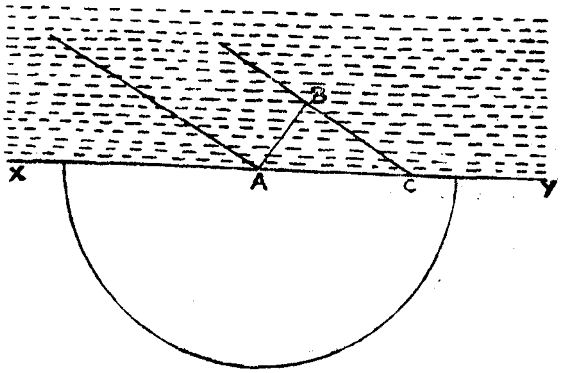
(ii) AD, AC-ஐவிடப் பெரியது,

(iii) AD, AC-க்குச் சமமானது

என்னும் மூன்று நிலைகள் இருக்கும் வாய்ப்பு உண்டு. இந்த மூன்று நிலைகளையும் கொண்டு முழு அக எதிரொளிப்பை விளக்க லாம்.

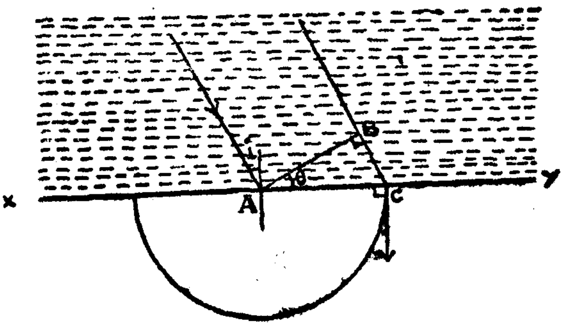
(i) படம் 14.14-இல் உள்ளதுபோல் AD; AC-ஐ விடச் சிறிய தாக இருக்கையில்; A-யில் இருந்து அடர்வுதுறை ஊடகத்தில் பரவும் கோளக அலைக்கு C-இன் வழியாக தொடுகோடு CD வரைய இயலும். இதனால் CD-தான் அடர்வுதுறை ஊடகத்தில் அமையும் விலகலடைந்த அலைமுகப்பாகும். இதனால் AD திசை யில் விலகல் கதிர் இருக்கும்.

(ii) படம் 14.15-ல் உள்ளது போன்று,



படம் 14.15

AD, AC-ஐ விடப் பெரியதாக இருந்தால் A-யை மையமாகக் கொண்டு பாயும் கோளக அலைக்குள் C இருப்பதனால் C-யின் வழியாக கோளக அலைக்கு தொடுகோடு வரைய இயலாது. இதனால் அடர்வு குறை ஊடகத்தில் ஒளிவிலகல் ஏற்படாது. மாறாக அடர்வுமிகு ஊடகத்திலுள்ளேயே எதிரொளிக்கும். இதுதான் முழு அக எதிரொளிப்பு எனப்படும்.



படம் 14.16

(iii) $AD = AC$ என்று இருக்கும்பொழுது எல்லைநிலையில் நடக்கும் ஒளிவிலகலாகின்றது. இதனால் புள்ளி C-யானது கோளக அலையின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியாகின்றது. எனவே C-யின் வழியாக ஒரு தொடுகோடு வரைய இயலும். தொடுகோடு கோளத்தை C-யிலேயே சந்திப்பதால் அது பிரிதளம் XY-க்குக் குத்தாக இருக்கும். அதாவது ஒளி விலகல் அடைந்த அலை முகப்பு பிரிதளம் XY-க்குக் குத்தாக இருக்கும். இந்நிலையில் விலகு கதிரானது பிரிதளத்தின் பரப்பைத் தொட்டவண்ணம் இணையான திசையில் செல்லும். இதுதான் மாறுநிலையாகும்.

எனவே, $AD = AC = v_1 t$

$$BC = v_2 t$$

$\triangle ABC$-யில் $\angle BAC = \varnothing$ எனில்

$$\frac{BC}{AC} = \sin \varnothing$$

ஆனால் $i = \varnothing$ ஆகும். எனவே '$\varnothing$' மாறுநிலையில் அடர்வுமிகு ஊடகத்தில் படுகோணமாகும்.

$$\therefore \frac{BC}{AC} = \frac{v_2 t}{v_1 t} = \sin \varnothing$$

அதாவது,

$$\frac{v_2}{v_1} = \sin \varnothing$$

அல்லது

$$\frac{1}{\mu} = \sin \varnothing \quad \left[\because \frac{v_1}{v_2} = \mu \right]$$

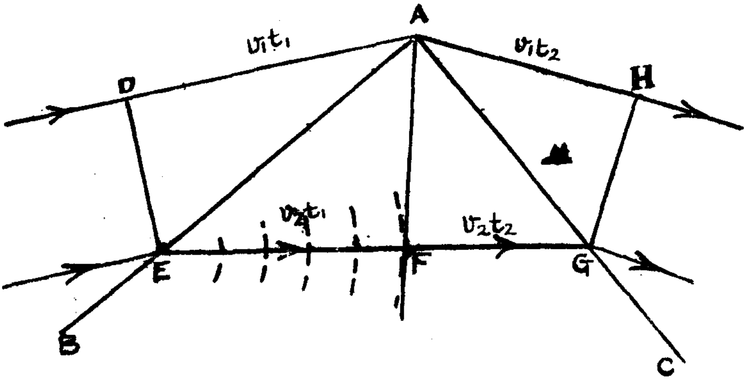
அடர்வுமிகு ஊடகத்தில் படுகின்ற எந்த அதிகப்படியான கோணம் '$\varnothing$'-வுக்கு அடர்வு குறைந்த ஊடகத்தில் ஒளிவிலகல் ஏற்பட முடிகின்றதோ அந்தக் கோணம் அடர்வுமிகு ஊடகத்தின் மாறுநிலைக் கோணம் '$\varnothing_c$' எனப்படும். எனவே விலகுகதிர் பரப்பைத் தொட்டுக் கொண்டு செல்லும். அதாவது விலகல் கோணம் 90° ஆகும். எனவே,

$$\sin \varnothing_c = \frac{1}{\mu}$$

$$\mu = \frac{1}{\sin \varnothing_c}$$ ஆகும்.

14.17. முப்பட்டகமொன்றின் வழியே தளஅலை முகப்பின் விலகல்:

AB, AC என்பவை ஒளிபுகுமொரு கண்ணாடி முப்பட்டகத்தின் பக்கங்கள் எனக் கொள்வோம். அதன் ஒளிவிலகல் எண் 'μ' என இருக்கட்டும். தாளின் பரப்பிற்குக் குத்து திசையில் பரவும் அலைமுகப்பு DE, பட்டகத்தின் பக்கம் AB மீது படட்டும். அது AB-ஐ E என்ற புள்ளியில் முதலில் தொடுகின்றது. ஒளிபுகும் பொருளாகையால் E-யில் ஏற்படும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் முப்பட்டகத்தினுள் பரப்பப்படுகின்றன. ஆனால் அலைமுகப்பின் மீது E-க்குச் சமநிலையிலுள்ள D என்னும் புள்ளி முப்பட்டகத்தை A-யில் தொடும்வரை காற்றிலேயே பரவுகின்றது. காற்றில் ஒளியின் திசைவேகத்தை v_1 எனவும், பட்டகத்தினுள் திசைவேகத்தை v_2 எனவும் கொள்வோம். இதனால் D ஆனது A-யை அடைவதற்கு ஆகும் காலம் 't_1' எனில், $DA = v_1 t_1$ ஆகும். இதே காலத்தில் E-யில் உண்டான இரண்டாம் நிலை அலைகள் முப்பட்டகத்தினுள் $v_2 t_1$ தூரம் பரவும். முப்பட்டகத்தினுள் உள்ள கோள அலைக்கு AF என்னும் தொடுகோடு வரைந்தால், AF, அலைமுகப்பையும், EF, அது பரவும் திசையையும் கொடுக்கின்றன. EF-இன் நீட்டிப்பானது பக்கம் AC-யை G-இல்



படம் 14.17

சந்தித்தால் G-தான் ஒளிக்கதிர் மீண்டும் காற்றில் பரவத் துவங்கும் புள்ளியாகும். அலை முகப்பு F-இலிருந்து G-க்கு வர ஆகும் காலம் t_2 எனில் $FG = v_2t_2$. இப்பொழுது அலைமுகப்பு AF கண்ணாடியிலிருந்து காற்றுக்கு; பக்கம் AC மூலம் பரவும் விதத்தைக் கவனிப்போம். F-இலிருந்து G-க்கு அலைமுகப்பு வர எடுத்துக் கொண்ட நேரத்தில், A-யில் துவங்கிய கோளக அலைகள் காற்றில் v_1t_2 தூரம் செல்லும்.

A-யை மையமாகவும் v_1t_2-ஐ ஆரமாகவும் கொண்ட ஒரு கோளம் வரைந்து G-இன் வழியாக அதற்கு ஒரு தொடுகோடு GH வரைந்தால் GH-தான் விலகலுக்குப் பின் வெளியேறும் அலைமுகப்பு ஆகும். முப்பட்டகத்தின் விளிம்பு A-யின் வழியாகச் செல்லும் அலைமுகப்பின் பாதை முழுவதும் காற்றில் அமைந்துள்ளது. EG-இன் வழியாகப் பரவும் ஒளிமுகப்பின் பாதை முழுவதும் கண்ணாடியில் அமைந்துள்ளது. ஆனால் D, E என்ற இரண்டு புள்ளிகளிலிருந்தும் முன்னோக்கிப் புறப்பட்ட அதிர்வுகள் G, H என்ற புள்ளிகளில் ஒரே காலத்தில் வந்தடைகின்றன.

எனவே,

$$\frac{DA+AH}{v_1} = \frac{EG}{v_2}$$

அல்லது

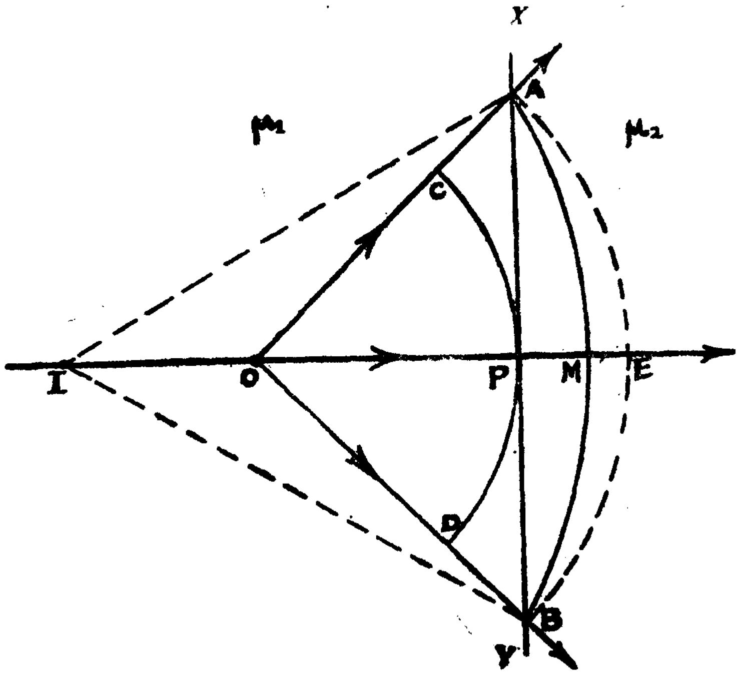
$$DA+AH = \frac{v_1}{v_2}\, EG$$

$$= \mu\, EG$$

அதாவது, 'μ' ஒளிவிலகல் எண் கொண்ட ஊடகத்தில் ஒளி கடந்த தூரத்திற்குச் சமமான தூரத்தைக் காற்றில் காண, ஊடகத்தில் கடந்த தூரத்தை ஒளிவிலகல் எண்ணால் பெருக்கக் கிடைக்கும்.

14.18 சமதளப்பரப்பில் கோளக அலைமுகப்பின் ஒளிவிலகல் :

XPY என்பது μ_1, μ_2 என்னும் ஒளிவிலகல் எண்களைக் கொண்ட இரண்டு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் பிரிதளம் எனக்கொள்வோம். v_1, v_2 என்பன முறையே அவ்வூடகங்களில் ஒளியின் திசைவேகங்களாக இருக்கட்டும். புள்ளி ஒளிமூலம் *O*, தளம் *XPY*-இல் இருந்து *u* தூரத்தில் முதல் ஊடகத்தில் இருக்கட்டும்.



படம் 14.18

CPD ஒளிமூலம் *O*-விலிருந்து பரவி பிரிதளத்தின் மீதுபடும் கோளக அலைமுகப்பு ஆகும். அலைமுகப்பின் *P* என்னும் புள்ளி தான் பிரிதளத்தில் படும் புள்ளியாகும். இரண்டாவது ஊடகம் இல்லாவிடில் ஒருகுறிப்பிட்டகாலம் *t*-யில் *AEB* என்னும் நிலையை அடைந்திருக்கும் எனக்கொள்வோம். அதாவது, அலைமுகப்பின் மீதுள்ள *C*, *D* என்னும் புள்ளிகள் முறையே பிரிதளத்தின்

மீதுள்ள A, B புள்ளிகளை அடையும் நேரத்தில் P-யில் உள்ள அலைமுகப்பு PE தூரம் சென்றிருக்கும். எனவே,

$$CA = DB = PE = v_1 t$$

ஆனால், இரண்டாம் ஊடகம் உள்ள காரணத்தால் அலைமுகப்பு முதலில் படும் P என்னும் புள்ளியிலிருந்து புறப்படுகின்ற இரண்டாம் நிலை அலைகள் காலம் 't'-யில் $PM = v_2 t$ தூரம் மட்டுமே சென்றிருக்கும்.

$$\therefore \frac{PE}{PM} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2} = {}^1\mu_2 \qquad \text{---(1)}$$

இப்பொழுது கோளப்பரப்பு AMB-யிலிருந்து,

$$PM = \frac{AP^2}{2MI} = \frac{AP^2}{2PI} = \frac{AP^2}{2v} \text{ (ஏறக்குறைய)}$$

பரப்பு AEB-யிலிருந்து,

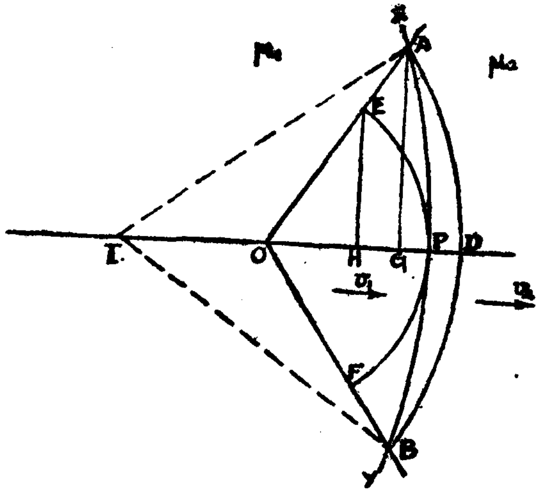
$$PE = \frac{AP^2}{2EO} = \frac{AP^2}{2PO} = \frac{AP^2}{2u} \text{ (ஏறக்குறைய)}$$

$$\therefore \frac{PE}{PM} = \frac{v}{u} \qquad \text{---(2)}$$

∴ சமன்பாடுகள் 1, 2 இவைகளிலிருந்து,

$$\frac{PE}{PM} = \frac{v}{u} = {}^1\mu_2 \text{ ஆகும்.}$$

14.19. கோளப்பரப்பில் கோளக அலைமுகப்பின் ஒளிவிலகல் :



படம் 14.19

XPY என்னும் குழிப் பரப்பு இரண்டு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் பகுதி எனக் கொள்வோம். முதல் ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ_1 எனவும், அதில் ஒளியின் திசைவேகம் v_1 எனவும், இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ_2 எனவும், அதில் ஒளியின் திசை வேகம் v_2 எனவும் கொள்வோம்.

முதல் ஊடகத்திலுள்ள புள்ளி ஒளிமூலம் *O*-விலிருந்து புறப்பட்டுவரும் கோளஅலைமுகப்பு *EPF* குழிப்பரப்பின் மீது முதன் முதலில் *P* என்னும் புள்ளியில் படுவதாகக் கொள்வோம். எனவே *P* ஒளிமூலமாகச் செயல்பட்டு இரண்டாம் நிலை அலைகளை இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் பரவச்செய்கின்றது. கோளக அலைமுகப்பின் மீதுள்ள *E*, *F* என்னும் முனைப் புள்ளிகள் குழிப் பரப்பை முறையே *A*, *B* புள்ளிகளில் தொடுவதற்கு ஆகும் காலம் '*t*' எனில் $EA = FB = v_1 t$. இந்தக் காலத்தில் *EPF* என்னும் அலைமுகப்பின் மீதுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் குழிப்பரம்பு *APB* யைத் தொட்டு இரண்டாம் நிலை அலைகளை உண்டாக்கி இரண்டாவது ஊடகத்தில் v_2 திசைவேகத்துடன் பரவச்செய்யும்.

P-யிலிருந்து பரவும் இரண்டாம் நிலை அலை இந்த '*t*' காலத்தில் *D* வரை சென்றிருந்தால் $PD = v_2 t$ என்றாகும். ஆனால் *A*, *B* என்ற புள்ளிகளிலிருந்து இரண்டாம் நிலை அலைகள் இப்பொழுதுதான் புறப்படுமாகையால் அக்கோளக அலைகளின் ஆரங்கள் சுழியமாக இருக்கும். எனவே புள்ளிகள் *A*, *B* இவற்றினிடையே அமையும் புள்ளிகளிலிருந்து புறப்படும் கோளக அலைகளின் ஆரங்கள், சுழியத்திற்கும் '$v_2 t$'-க்கும் இடைப்பட்ட மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும். இதனால் விலகல் அடைந்த அலைமுகப்பு *ADB*-யானது குழிபரப்பிற்கு முன்னுள்ள புள்ளி *I*-இல் குவியும் குழிபரப் பொன்றின் வடிவத்தைப் பெறும். எனவே *I*-தான் *O*-வினுடைய படிவமாகும்.

முக்கிய அச்சு *PC*-க்கு *A*, *E* இவற்றிலிருந்து முறையே, *AG*, *EH* என்னும் குத்துக்கோடுகளை வரைக. ஒளிவிலகல் அடையச் செய்யும் பரப்பின் உயரத்தை, வளைவு ஆரத்தோடு ஒப்பிடுகையில் மிகச் சிறியதாக இருப்பதால்,

$$EA = FB = GH = v_1 t \qquad \text{——(1)}$$

மேலும்,

$$PD = v_2 t \qquad \text{——(2)}$$

எனவே,

$$\frac{GH}{PD} = \frac{v_1}{v_2} = \mu$$

அல்லது

$$GH = \mu\, PD$$

ஆனால்

$$GH = PH - PG$$

$$PD = DG - PG$$

$$\therefore\ PH - PG = \mu\,(DG - PG)$$

அல்லது

$$(\mu - 1)\, PG = \mu\, DG - PH \qquad \text{——(3)}$$

வளைபரப்பு *EPF*-ஐக் கருதினால்,

$$PH = \frac{EH^2}{2PO} = \frac{y^2}{2u}$$

பரப்பு *APB*-யிலிருந்து,

$$PG = \frac{AG^2}{2PC} = \frac{y^2}{2R}$$

பரப்பு *ADB*-யிலிருந்து,

$$DG = \frac{AG^2}{2PI} = \frac{y^2}{2v}$$

சமன்பாடு 3-இல் இந்த மதிப்பீடுகளைப் பதிலீடு செய்ய,

$$(\mu - 1)\frac{y^2}{2R} = \mu\frac{y^2}{2v} - \frac{y^2}{2u}$$

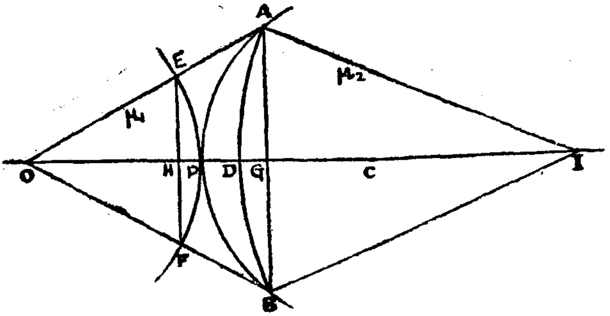
அல்லது

$$\frac{(\mu - 1)}{R} = \frac{\mu}{v} - \frac{1}{u}$$

இந்தச் சமன்பாடு, வடிவியல் ஒளியியலில், ஒளிவிலகல் அடையச் செய்யும் பரப்பிலிருந்து பொருளுக்கும் படிவத்திற்குமிடைப் பட்ட தூரங்கள், பரப்பின் வளைவு ஆரம், இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் ஆகியவைகளுக் கிடைப்பட்ட தொடர்பைக் கொடுக்கின்றது. மேலும் u, v, R மூன்றும் நேர்க் குறியைக் கொண்டுள்ளனவாகையால் சமன்பாடு எவ்வித மாற்றமும் அடையாது.

14.20. குவிவளைபரப்பில் கோளக அலைமுகப்பின் ஒளிவிலகல் :

APB என்னும் குவிப்பரப்பு, இரண்டு ஊடகங்களைப் பிரிக்கும் பகுதி எனக் கொள்வோம். முதல் ஊடகத்தினைக் காற்று எனவும், அதில் ஒளியின் திசைவேகம் v_1 எனவும், இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் μ எனவும், அதில் ஒளியின் திசைவேகம் v_2 எனவும் கொள்வோம். முதல் ஊடகத்தில் அமைந்துள்ள புள்ளிஒளிமூலம் O-விலிருந்து புறப்பட்டுவரும் கோள அலைமுகப்பு EF, குவிபரப்பின் மீது முதலில் P என்னும் புள்ளியில் படுவதாகக் கொள்வோம். எனவே P இரண்டாம்நிலை ஒளி மூலமாகச் செயல்பட்டு இரண்டாம்நிலை அலைகளை இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் பரவச் செய்கின்றது. கோளக அலைமுகப்பின்



படம் 14.20

மீதுள்ள E, F என்னும் முனைப்புள்ளிகள் குவிப் பரப்பை முறையே A, B ஆகிய புள்ளிகளில் தொடுவதற்கு ஆகும் காலம் t எனில் $EA = FB = v_1 t$. இந்தக் காலம் t-யில், EPF என்னும் அலைமுகப்பின் மீதுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளும், குவிப்பரப்பு APB யைத் தொட்டு இரண்டாம்நிலை அலைகளை உண்டாக்கி இரண்டாவது ஊடகத்தில் v_2 திசைவேகத்துடன் பரவச் செய்கின்றன. இப்பொழுது EPF தான் P-யில் ஒளிவிலக துவங்கும் பொழுது அலைமுகப்பு எனில், ஒளிவிலகல் முடிந்தவுடன் ADB, விலகலடைந்த அலைமுகப்பாகும். ADB ஒரு குழி பரப்பைக் கொண்டதாகவும் அச்சின்மீது I-ல் குவிவதாகவும் உள்ளது. எனவே I- தான் O-வின் படிவம்.

படு அலை முகம்பு $EA = FB$ தூரம் பரவும் நேரத்தில், F-யிலிருந்து புறப்பட்ட இரண்டாம் நிலை அலைகள் PD தூரம் பரவுகின்றன. இதற்கான காலம் t எனில், $PD = v_2 t$ என்றும் $EA = FB = v_1 t$ என்றும் ஆகும். முக்கிய அச்சிற்கு E, A

இவற்றின் மூலம் EH, AG ஆகிய குத்துக் கோடுகளை வரையவும். விலகலை உண்டாக்கும் பரப்பு மிகக்குறைந்தது எனில்,

$EA = GH = v_1 t$ எனவும்,

$EH = AG = y$ எனவும் கொள்ளலாம்.

அதாவது

$$GH = v_1 t \qquad \text{——(1)}$$

$$PD = v_2 t \qquad \text{——(2)}$$

எனவே

$$\frac{GH}{PD} = \frac{v_1}{v_2} = \mu$$

அல்லது

$$GH = \mu\, PD$$

ஆனால்

$$GH = PG + PH$$

$$PD = PG - DG$$

எனவே

$$(PG + PH) = \mu\,(PG - DG)$$

அல்லது

$$(\mu - 1)\, PG = \mu\, DG + PH \qquad \text{——(3)}$$

EPF, APB, ADB ஆகிய மூன்று வளைபரப்புகளிலிருந்து முறையே,

$$PH = \frac{EH^2}{2PO} = \frac{y^2}{2PO}$$

$$PG = \frac{AG^2}{2PC} = \frac{y^2}{2R}$$

$$DG = \frac{AG^2}{2PI} = \frac{y^2}{2PI}$$

ஆகிய சமன்பாடுகளைப் பெறலாம்.

PH, PG, DG ஆகியவற்றின் மதிப்புக்களைச் சமன்பாடு 3-இல் பதிலீடு செய்ய,

$$(\mu - 1)\frac{1}{PC} = \frac{\mu}{PI} + \frac{1}{PO}$$

ஆனால்,

$$PO = u;\ PI = v;\ PC = R$$

எனவே,

$$\frac{\mu-1}{R} = \frac{\mu}{v} + \frac{1}{u}$$

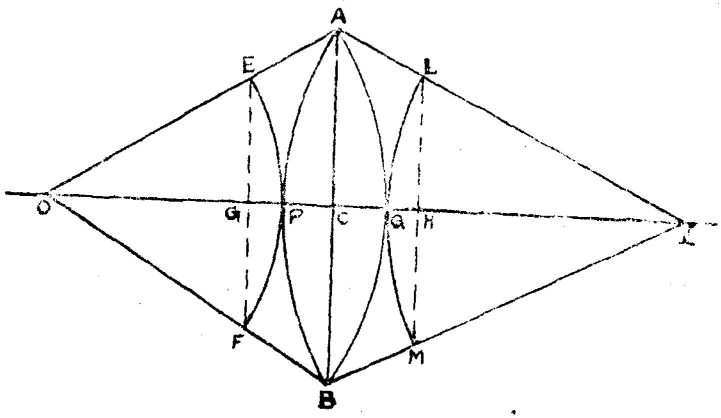
இங்கு v; R இரண்டும் எதிர்க்குறியையும், u நேர்க்குறியையும் கொண்டவையாகையால்

$$\frac{\mu}{v} - \frac{1}{u} = \frac{\mu-1}{R}$$

என்ற சமன்பாடு கிடைக்கும்.

14.21. குவிவில்லையின் வழியாக ஒளி விலகல் :

APB, *AQB* என்பன ஒரு குவி வில்லையின் இரண்டு வளைபரப்புகள். அவற்றின் வளைவு ஆரங்கள் முறையே R_1, R_2 என இருக்கட்டும். C-என்பது அவ்வில்லையின் முக்கிய அச்சின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளி ஒளிமூலம். *EPF* என்பது *O*-விலிருந்து புறப்பட்டுச் சென்று *APB* பரப்பின் மீது விழும் ஒரு கோளக அலைமுகப்பு. இது வில்லையில் விலகலடைந்த பின்னர் *I*-யில் குவியும் *LQM* என்னும் கோளக அலைமுகப்பாக வெளியேறுகின்றது. எனவே *I*-தான் *O*-வின் படிவம். பாதை எதுவானாலும், புள்ளி *O*-விலிருந்து *I*-க்கு ஒரு அலைமுகப்பு செல்வதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் சமமானதாகவே இருக்கும். இத்தத்துவத்தைக் கொண்டு பொருளுக்கும், வில்லையின் மெய்ப்புள்ளிக்கும் இடைப்பட்ட



படம் 14.21

காலம் u, படிவத்திற்கும் வில்லையின் மெய்ப்புள்ளிக்கும் இடைப் பட்ட தூரம் v, வில்லை ஆக்கப்பட்டுள்ள இரண்டு வளைபரப்புக் களின் வளைவு ஆரங்கள் R_1, R_2 இவைகளுக்கிடைப்பட்ட சமன் பாட்டைப் பெறலாம். இதன்படி படம் 14.21-இல் முழுவதும் காற்றில் அமைந்துள்ள பாதை QA, AI இவற்றைக் கடப்பதற்கு ஆகும் காலமும், OP தூரம் காற்றில், PQ தூரம் ஊடகத்தில், மீண்டும் காற்றில் QI தூரம் இவைகளைக் கடப்பதற்கு ஆகும் காலமும் சமமானவையாகும். இதனால் பொருளிலிருந்து படிவத் திற்குள்ள எல்லா ஒளியியல் பாதை நீளங்களும் சமமானவை என்றுகின்றது.

காற்றில் ஒளியின் திசை வேகம் v_1 எனவும், ஒளிவிலகல் எண்ணின் மதிப்பு μ எனவும், ஊடகத்தில் ஒளியின் திசைவேகம் v_2 எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{QA+AI}{v_1} = \frac{OP}{v_1} + \frac{PQ}{v_2} + \frac{QI}{v_1} \text{ ஆகும்.} \qquad \text{——(1)}$$

v_1-ஆல் சமன்பாட்டைப் பெருக்க,

$$OA + AI = OP + PQ\frac{v_1}{v_2} + QI$$

அல்லது,

$$OA + AI = OP + \mu\, PQ + QI \qquad \text{——(2)}$$

எனவே, ஊடகத்தில் PQ நீளமுள்ள பாதை, காற்றில் ($\mu\, PQ$) நீளமுள்ள பாதைக்குச் சமமாகின்றது.

ஆனால்,

$$OA = OE + EA = OP + EA$$

$$IA = IL + LA = IQ + LA$$

$$[\because OE = OP,\ IL = IQ]$$

சமன்பாடு 2-இல் OA, IA இவைகளுக்கான மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்ய,

$$OP + EA + IQ + LA = OP + \mu\, PQ + QI$$

அல்லது

$$EA + LA = \mu\, PQ \qquad \text{——(3)}$$

ஆனால்,

$$EA + LA = EL \text{ (ஏறக்குறைய)}$$

வில்லையின் முக்கிய அச்சிற்கு E, A, L இவற்றின் வழியாக முறையே EG, AC, LH என்னும் குத்துக்கோடுகளை வரைக,

இப்பொழுது, $EL = GH$

$$\therefore GH = \mu PQ \qquad \text{——(4)}$$

ஆனால்,

$$GH = GP + PC + CQ + QH \qquad \text{——(5)}$$

$$PQ = PC + CQ \qquad \text{——(6)}$$

சமன்பாடு 4-இல் சமன்பாடுகள் 5, 6 இவைகளின் மதிப்புக்களை பதிலீடு செய்ய,

$$GP + PC + CQ + QH = \mu (PC + CQ)$$

அல்லது,

$$GP + QH = (\mu - 1)(PC + CQ) \qquad \text{——(7)}$$

படத்தில், $EG = AC = LH = y$ என்றும், (ஏறக்குறைய)

$CO = u$, $CI = v$ என்றும் கொள்வோம்.

வளைபரப்புகள் EPF, APB, AQB, LQM இவைகளிலிருந்து.

$$\left.\begin{aligned} GP &= \frac{y^2}{2PO} = \frac{y^2}{2u} \\ PC &= \frac{y^2}{2R_1} \\ QC &= \frac{y^2}{2R_2} \\ QH &= \frac{y^2}{2QI} = \frac{y^2}{2v} \end{aligned}\right\} \text{(ஏறக்குறைய)} \qquad \text{——(8)}$$

ஆகிய சமன்பாடுகளைப் பெறலாம்.

சமன்பாடு 7-இல் இந்த மதிப்புக்களை இட,

$$\frac{y^2}{2u} + \frac{y^2}{2v} = (\mu - 1)\left[\frac{y^2}{2R_1} + \frac{y^2}{2R_2}\right]$$

அல்லது,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = (\mu - 1)\left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right] \qquad \text{——(9)}$$

என்று கிடைக்கும். இவற்றில் v, R_1 இரண்டும் எதிர்க்குறியைக் கொண்டவை; u, R_2 இரண்டும் நேர்க்குறியைக் கொண்டவை. எனவே,

$$\left(\frac{1}{-v}+\frac{1}{u}\right)=(\mu-1)\left[\frac{1}{-R_1}+\frac{1}{R_2}\right]$$

அல்லது,

$$\left(\frac{1}{v}-\frac{1}{u}\right)=(\mu-1)\left[\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right]$$

ஆகும். பொருள் அந்தகத்தில் இருந்தால், $u=\infty$. எனவே $v=f$, வில்லையின் குவியத் தூரம் ஆகும். ஆக,

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left[\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right]$$

இதுதான் வில்லைக்குப் பொதுவான வாய்ப்பாடு ஆகும்.

14. 22 குழிவில்லையொன்றின் வழியாக ஒளி விலகல் :

APB, *CQD* என்பன ஓர் இருபுற குழிவில்லையின் ஒளிவிலகலை உண்டாக்கும் வளைபரப்புக்கள் எனக் கொள்வோம். அவற்றின் வளைவு ஆரங்கள் முறையே R_1, R_2 என இருக்கட்டும். *ALB* என்பது, முக்கிய அச்சின் மீதுள்ள புள்ளி ஒளி மூலம் *O*-விலிருந்து புறப் பட்டு வில்லையின் மீது விழும் ஒரு கோளக அலைமுகப்பு, ஒளிவிலகலுக்குப் பிறகு *I*-இல் குவியும் கோளக அலைமுகப்பாக வெளியேறுகின்றது. எனவே *I*-தான் *O*-வின் படிவமாகும். புள்ளிகள் *A*, *C* இவற்றின் வழியாக முக்கிய அச்சிற்கு *AK*, *CM* என்னும் குத்துக்கோடுகள் வரைக. *A*-யிலிருந்து *C*-க்கும், *L*-இலிருந்து *N*-க்கும் செல்வதற்கான ஒளியியல் பாதைகள் சமமானவையாகும்.

$$\therefore \mu AC = LP + \mu PQ + QN \qquad \text{——(1)}$$

ஆனால்,

$$AC = KM \text{ (ஏறக்குறைய)}$$

$$\therefore \mu KM = LP + \mu PQ + QN$$

$$\mu(KP + PQ + QM) = LP + \mu PQ + QN$$

$$\mu(KP + QM) = (KP - KL) + (QM + MN) \qquad \text{——(2)}$$

இப்பொழுது $AK = CM = y$ எனக் கொண்டால்,

$$KP = \frac{y^2}{2R_1}, \quad QM = \frac{y^2}{2R_2}$$

$$KL = \frac{y^2}{2u}, \quad MN = \frac{y^2}{2v}$$

இந்த மதிப்புகளை சமன்பாடு 2-இல் பதிலீடு செய்ய,

$$\mu\left[\frac{y^2}{2R_1}+\frac{y^2}{2R_2}\right]=\frac{y^2}{2R_1}-\frac{y^2}{2u}+\frac{y^2}{2R_2}-\frac{y^2}{2v}$$

அல்லது,

$$\mu\left[\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right]=\left[\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right]-\frac{1}{u}-\frac{1}{v}$$

$$\therefore -\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=(\mu-1)\left[\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right]$$

இங்கு v, R_2 இரண்டும் எதிர்க்குறியையும், u, R_1 இரண்டும் நேர்க் குறியையும் பெற்றுள்ளன.

$$\therefore \left[\frac{1}{v}-\frac{1}{u}\right]=(\mu-1)\left[\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right]$$

$u=\infty$ எனில், $v=f$

$$\therefore \frac{1}{f}=(\mu-1)\left[\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right]$$ ஆகும்.

இதுவே வில்லைக்கான பொதுவான சமன்பாடு.

14. 23 அலைக்கொள்கை மூலம் நிறப்பிரிகை :

வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசை வேகம் எல்லா வண்ணங்களுக்கும் சமமாக உள்ளது. நாம் முன்பே பார்த்தபடி அடர்வுமிகு ஊடகங்களின் ஒளிவிலகல் எண்கள் வண்ணத்திற்கு வண்ணம் மாறுகின்றன. ஆனால் ஒளிவிலகல் எண், காற்றில் ஒளியின் திசை வேகத்திற்கும் ஊடகத்தில் அதன் திசை வேகத்திற்கும் இடைப் பட்ட விகிதமாகும். எனவே, கண்ணாடி போன்ற ஊடகத்தில் ஒளியின் திசைவேகம் அதன் நிறத்தைப் பொறுத்தது என்பது தெளிவாகின்றது. ஆனால், அடுத்த அத்தியாயத்தில் நாம் படிக்கப் போகும் ஒளிக்குறுக்கீட்டிலிருந்து (Interference of light) ஒளியின் நிறமானது அதன் அலை நீளத்தைப் பொறுத்தது என்பது தெளிவுபடும்

எனவே ஒரு ஊடகத்தின் வழியாக ஒளிக்கதிர்கள் செல்லும் பொழுது அதில் ஏற்படும் நிறப்பிரிகை, அந்த ஊடகத்தினுள் வெவ்வேறு அலைநீளங்களுக்கு வெவ்வேறு திசைவேகங்களைக் கொண்டிருப்பதால்தான் ஏற்படுகின்றது எனச் சொல்லலாம்.

முடிவுரை: ஆக அலைக் கொள்கையானது, வடிவியல் ஒளியியலில் நாம் படித்த (ஒளியியலும் நிறமாலையியலும்-I என்ற நூலில்) எல்லாவிதமான ஒளி நிகழ்வுகளுக்கும் விளக்கம் கொடுக்கிறது மேலும், அடுத்து வரும் அத்தியாயங்களில் படிக்க விருக்கும் ஒளிக் குறுக்கீடு, விளிம்பு விளைவு, தள விளைவு ஆகியவை களுக்கும் தெளிவான விளக்கங்களைத் தருகின்றது. எனவே அலைக் கொள்கை, துகட் கொள்கையினை விட சிறப்பான தொன்றாக அமைகின்றது.

வினாக்கள்

1. ஒளியலைகளை அமைத்தலுக்கான ஹாய்ஜனின் தத்துவம் என்ன? இத்தத்துவத்தின் மூலம் ஒளி விலகலுக்கான விளக்கத்தினைக் கொடுக்கவும்.

2. கோளக பரப்பொன்றில் கோளக அலை விலகல் அடைதலுக்கான குறிக் கோவையைப் பெறுக.

3. ஒளிப்பரவலுக்கான ஹாய்ஜனின் தத்துவத்தைக் கொடுக்கவும். இத்தத்துவத்தின் மூலம் மென்வில்லை பொன்றில் விலகல் ஏற்படுகையில் பொருள் தொலைவு படிவத் தொலைவு, விலகல் எண் ஆகியவைகளை இணைக்கும் சமன் பாட்டினைப் பெறுக.

4. ஒளி எதிரொளிப்பு, விலகல் ஆகியவைகளை அலைக்கொள்கை மூலம் விளக்குக. விலகல் எண்ணின் இயற்பிய முக்கியத் துவத்தை சுட்டிக்காட்டவும்.

5. துகட்கொள்கை, அலைக்கொள்கை இரண்டின் மூலமும் ஒளி விலகலை விளக்கவும். அவை எவ்வாறு முரண்பட்டுள்ளன என்று சுட்டி காட்டவும். இந்த முரண்பாடு எவ்வாறு தீர்க்கப் பட்டது என்று விளக்கவும்.

6. அலைமுகப்பு என்றால் என்ன? இது எப்படி உண்டாக்கப் படுகின்றது? அலைக் கொள்கை மூலம் மென்வில்லைச் சமன் பாட்டைப் பெறுக.

7. ஒளிக் கொள்கைகள் பற்றி குறிப்பு வரைக. ஹாய்ஜனின் அலைப் பரவுதல் விளக்கத் தத்துவத்தின் படி, மென்வில்லை சமன்பாட்டினைப் பெறுக.

8. முழு அக எதிரொளிப்பினை அலைக் கொள்கை மூலம் விளக்குக.

9. ஒளிப் பண்புகள் குறித்து கட்டுரையொன்று வரைக.

10. சிறு குறிப்பு வரைக :

(a) ஒளியின் அலைக் கொள்கை.

(b) ஹாய்ஜன் தத்துவம்.

(c) நியூட்டனின் துகட் கொள்கை.

15. ஒளிக் குறுக்கீடு

15.1 அலைகள் மேற்பொருந்துதல் :

தாமஸ் எங் என்பார் 1801-ஆம் ஆண்டில் ஒளிக் குறுக்கீட்டினை கண்டுபிடித்தார். இதற்கு அவர் இரண்டு ஒளிமூலங்களை அருகருகே அமைத்தார். அவற்றினின்று ஒளிஅலைகளை ஊடக மொன்றில் பரவும்படி செய்து, ஒளிமூலங்களிலிருந்து சிறிது தொலைவில் அமைந்துள்ள திரையொன்றின் மீது அவை ஏற்படுத்தும் விளைவைக் கவனித்தார். திரைமுழுவதும் சீராக ஒளியூட்டப் பட்டிருத்தலுக்குப் பதிலாக சில புள்ளிகள் பொலிவுடனும், சில இருளாகவும் இருப்பதைக் கண்டார். இவ்வாறு பொலிவும் இருளும் ஏற்படுவதற்கு, பரவும் ஒளியலைகள் ஒன்றையொன்று குறுக்கீடு செய்வதுதான் காரணம் என விளக்கினார்.

இதனைத் தெளிவுபட புரிந்து கொள்ள அலைகள் மேற் பொருந்துதல் (Superposition waves) தத்துவத்தைக் கருத வேண்டும். ஊடகமொன்றில் இரண்டு அல்லது இரண்டுக்கு மேற்பட்ட அலைத்தொடர்கள் பரப்பப்பட்டால், அவை ஒன்றை யொன்று கடந்து சென்றாலும் ஒன்றினால் மற்றதின் இயக்கம் பாதிக்கப் படுவதில்லை. ஆனால், ஒன்றையொன்று சந்திக்கின்ற இடத்தில் மட்டும் சேர்ந்து செயல்படுகின்றன. இவ்வாறு இரண்டு அலைகள் சேர்ந்து செயல்படுவதினால் ஒரு புள்ளியில் அமையும் ஊடகத்தின் துகள் அடையும் இடப்பெயர்ச்சி, அவை தனித்தனியே ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சிகளின் குறியியல் கூட்டுத்தொகை (Algebraic sum)க்குச் சமமாகும். இந்த இடப் பெயர்ச்சி சில இடங்களில் பெருமமாகவும், சில இடங்களில் சிறுமமாகவும் அமைகின்றது. இவ்வாறு அலைகள் ஏற்படுத்தும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சியைக் காணும் இம்முறை 'மேற் பொருந்துதல் தத்துவம்' (Principle of superposition) எனப்படும். அலைகள் ஒன்றையொன்று சந்திக்கும் இடங்களில் அமைந்துள்ள துகள்கள் அடையும் இடப்பெயர்ச்சிகளின் இருமடிக்கு ஒளிச் செறிவானது நேர் விகிதத்திலிருக்கும் ($I \propto a^2$). இதனால் பெரும

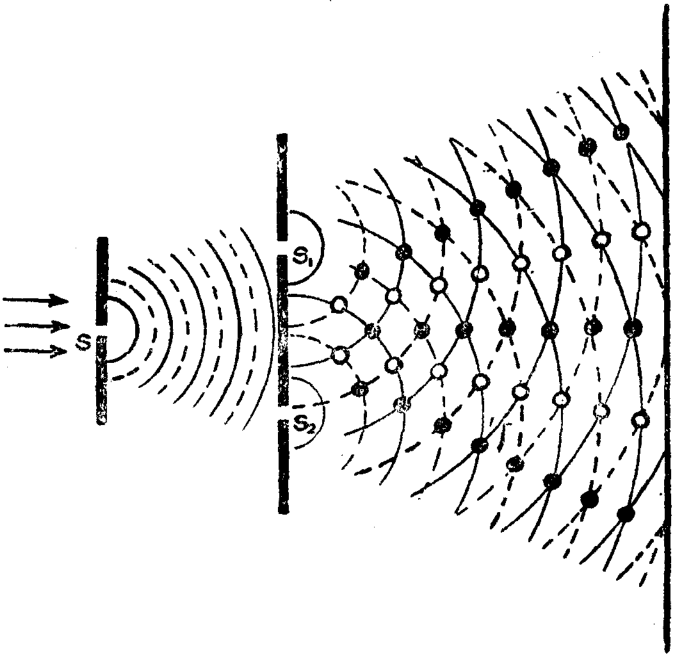
இடப்பெயர்ச்சி உள்ள இடங்களில் பெரும ஒளிச்செறிவும், சுழிய இடப்பெயர்ச்சி உள்ள இடங்களில் இருளும் உண்டாகின்றன. இவ்வாறு, பரவும் ஒளியலைகள் திரையின் மீது சந்திக்கின்ற இடங்களில் மட்டுமே அடுத்தடுத்து ஒளிச்செறிவு புள்ளிகளும், இருள் புள்ளிகளும் தோன்றுதல் குறுக்கீட்டு விளைவு (Interference) எனப்படும்.

15.2 யங் ஆய்வு :

குறுக்கீட்டு விளைவினை படம் 15.1-இல் காட்டியுள்ள அமைவின் மூலம் தோற்றுவித்துக் காட்டியதுடன், ஒளியானது அலைவடிவில் பரவுதலின் மூலம் இந்த விளைவு ஏற்படுவதையும் யங் தெளிவுபட விளக்கினார். S என்னும் சிறுதுளையின் மீது சூரிய ஒளி குத்தாகப் படும்படி செய்தார். ஒளியூட்டப்பட்ட துளை S, ஒளிமூலமாகச் செயல்படும். S-இலிருந்து கோளாக அலைகள் பரவி சிறிது தொலைவில் அமைந்துள்ள திரையின் மீது படுகின்றன. அத்திரையின் மீது அருகருகே S_1, S_2 என்னும் இரு நுண்ணிய துளைகள் உள்ளன. படும் கோளக அலைகளால் ஒளியூட்டப்படும் S_1, S_2 இரண்டிலிருந்தும் இரண்டாம் நிலை கோளக அலைகள் ஊடகத்தில் தொடர்ந்து பரவுகின்றன. இந்த அலைகளை திரையொன்றின் மீது விழும்படி செய்தால், திரையின் மீதுள்ள வெவ்வேறு புள்ளிகளில் மாறுபட்ட ஒளியூட்டங்கள் ஏற்படுகின்றன. இது குறுக்கீட்டு விளைவினால்தான் என யங் கூறினார்.

சூரிய ஒளிக்குப் பதிலாக ஒற்றை நிற ஒளிமூலம் ஒன்றிலிருந்து வரும் ஒளியையும், நுண் துளைகளுக்குப் பதிலாக குறுகிய பிளவுகள் (Narrow slits) கொண்டும் ஆய்வகங்களில் இந்த அமைவினைக் கொள்ளலாம். குறுகிய பிளவுகளைப் பயன் படுத்துவதினால் கோளக அலைமுகப்புகளுக்குப் பதிலாக உருளை அலைமுகப்புகள் உண்டாகும்.

படம் 15.1-இல் அலை பரவுதலைக் காட்டுகையில் தொடர் வட்டக் கோடுகள் அலைகளின் முகடு (Crest)களையும், புள்ளி வட்டக் கோடுகள் அகடு (Trough) களையும் குறிப்பனவாக உள்ளன. எனவே திரையின் மீது இரண்டு தொடர்க்கோடுகள் சந்திக்கின்ற புள்ளிகளில் (முகடு, முகடு சந்திப்பு) அலைகள் சமகட்டத்திலோ அல்லது 2π-இன் முழு எண் பெருக்கற் தொகை ($2\pi n$) கட்ட வேறுபாடு கொண்டோ அமைந்திருக்கும். ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியானது இரண்டு அலைகளும் தனித்தனியே ஏற்படுத்தும் நேர்க்குறி இடப்பெயர்ச்சிகளின் கூடுதல் (Sum) ஆக இருக்கும்.



படம் 15.1

இதேபோன்று இரண்டு புள்ளிக்கோடுகள் (Dotted lines) சந்திக்கும் புள்ளிகளிலும் (அகடு, அகடு சந்திப்பு) சமகட்ட வேறுபாடு அல்லது $2\pi n$ கட்டவேறுபாடு இருக்கும். இந்நிலையில் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி, இரண்டு அலைகளும் தனித்தனியே ஏற்படுத்தும் எதிர்க்குறி இடப்பெயர்ச்சிகளின் கூடுதலாக இருக்கும். இடப்பெயர்ச்சிகளின் கூடுதல், நேர்க்குறி மதிப்பாக இருந்தாலும், எதிர்க்குறி மதிப்பாக இருந்தாலும் ஒளிச்செறிவு,

$$I \propto [\text{இடப்பெயர்ச்சி}]^2$$

ஆதலால், இப்புள்ளிகள் பொலிவுப் புள்ளிகளாகவே இருக்கும். இவ்வகைப்புள்ளிகள் கருமைப்புள்ளிகளாக படம் 15.1-இல் காட்டப்பட்டுள்ளன. ஆக, திரையின் மீது ஓர் அலையின் முகடு மற்றதின் முகட்டைச் சந்தித்தாலும், ஓர் அலையின் அகடு மற்றதின் அகட்டைச் சந்தித்தாலும் அப்புள்ளிகளில் பொலிவு உண்டாகும். இவ்வாறு அலைகள் சந்தித்தல் ஆக்கக் குறுக்கீடு (Constructive interference) எனப்படும்.

மாறாக, தொடர்க் கோடொன்றும் புள்ளிக்கோடொன்றும் சந்திக்கும் இடங்களில் (முகடு, அகடுசந்திப்பு) கட்டவேறுபாடு

$(2n-1)\pi$ மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும். எனவே, இந்த இடங்களில் அமையும் இடப்பெயர்ச்சி மேல்நோக்கி அமையும் மதிப்பிற்கும் கீழ்நோக்கி அமையும் மதிப்பிற்குமான வேறுபாடாக இருக்கும். இரண்டு அலைகளின் வீச்சுக்களும் சமமாக இருந்தால் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி சுழியமாக இருக்கும். இந்த இடங்களில் ஒன்றின் விளைவை மற்றது அழித்து விடுகின்றது. இதனால் ஒன்றின் ஆற்றல் மற்றதினால் அழிக்கப்படுவதென்பதில்லை. மாறாக ஆற்றல் மாற்றம் நடைபெறுகின்றது. இவ்வகைப் புள்ளிகள் திரையின் மீது இருளாக அமையும். இப்புள்ளிகளில் அழிவுக் குறுக்கீடு (Destructive interference) ஏற்படுகின்றது.

படம் 15.2

இந்த இரண்டு வகை குறுக்கீடுகளும் திரையின் மீது ஏற்படுவதால் அடுத்தடுத்த புள்ளிகள் பொலிவுடனும் இருளுடனும் அமைகின்றன. இத்துடன் பொலிவுமிக்க புள்ளிகள் அனைத்தும் ஒரே நேர்க்கோட்டின் மீதும், இருள் புள்ளிகள் எல்லாம் ஒரே நேர்க்கோட்டின் மீதும் அமைகின்றன. எனவே படம் 15.2-இல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு பொலிவு வரிகளும் இருள் வரிகளும் அடுத்தடுத்து அமைந்து தோன்றுகின்றன. இவ்வமைப்பு குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் (Interference pattern) எனப்படும்.

குறுக்கீட்டுப் பாங்கமானது எல்லாவித ஒளிமூலங்களைக் கொண்டும் தோற்றுவிக்கப்பட இயலுவதில்லை. அப்படி தோற்றுவிக்கப்பட்டாலும் நிலையாக இருப்பதில்லை. மாறாக, அலைகளைப் பரவச் செய்யும் ஒளிமூலங்கள் சில குறிப்பிட்ட தன்மைகளைக் கொண்டவையாக இருத்தல் அவசியம். அவ்வகை ஒளிமூலங்கள் 'ஓரியல் ஒளிமூலங்கள்' (Coherent sources) எனப்படும். ஓரியல் ஒளிமூலங்களைப் பற்றியும், நிலையான குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தை உண்டாக்க அமையவேண்டிய நிபந்தனைகள் குறித்தும் வரும் பகுதிகளில் படிக்கலாம்.

15.3 ஓரியல் ஒளிமூலங்கள் :

ஒளிமூலங்கள் இரண்டிலிருந்தும் பரவும் அலைகள் சம அதிர்வெண்களும் (சம அலை நீளங்களும்) சமவீச்சுக்களும்

கொண்டிருப்பதுடன், அவ்வலைகளுக்கு இடையே அமையும் கட்டவேறுபாடு சமமாகவோ அல்லது ஒப்புமை கொண்டோ யிருக்குமானால், அவ்விரு ஒளிமூலங்களும் ஓரியல் ஒளிமூலங்கள் (Coherent sources) எனப்படும்.

ஆனால் நடைமுறையில் குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தை உண்டாக்க இரண்டு தனிப்பட்ட ஒளிமூலங்களைப் பயன்படுத்த இயலாது. ஏனெனில், இரண்டு தனித்த ஒளிமூலங்களைக் கொண்டு சம அலை நீளம் கொண்ட அலைகளைப் பெறலாம். அதாவது அவை ஒற்றை நிறஒளி (Monochromatic light)யை வெளியிடுவனவாக இருக்கலாம் (இரண்டு வெவ்வேறு சோடியம் ஆவி விளக்குகள்); சம வீச்சு கொண்ட அலைகளைப் பரப்புவைகளாகவும் இருக்கலாம். ஆனால், அவை சமகட்ட வேறுபாடுகளைக் கொண்ட அலைகளை வெளியிட இயலாது. ஒளிமூலங்களின் ஒளிர்வுக்குக் காரணமாக அமையும் பொருளின் அணுக்களிடையே ஏற்படும் மோதல்களினால் அலைகளின் கட்டங்களில் துரிதமான, குறியிலா (Abrupt) மாற்றங்கள் நிகழ்கின்றன. இதனால் இரண்டு தனித்தனி ஒளிமூலங்களை ஓரியல் ஒளிமூலங்களாகக் கொள்ள இயலாது.

நிலையான குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்துதலுக்கு, அலைகள் பரப்பும் ஒளிமூலங்களில் ஒன்றாக மூல ஒளிமூலமும், மற்றது அதனுடைய மாயப்படிவமாகவும் இருக்கலாம். அல்லது ஒரு மூல ஒளிமூலத்தின் இருமாயப்படிவங்கள் ஓரியல் ஒளிமூலங்களாக இருக்கலாம். இங்கு ஒளிமூலத்தில் ஏற்படும் அதிர்வுகள் படிவங்களிலும் உடனடியாக ஏற்படுகின்ற காரணத்தினால் கட்டவேறுபாடு நிலையானதாக இருக்கும். எனவே மேற்கூறிய இரண்டு வகைகளில் ஏதாவது ஒருமுறையில் ஓரியல் ஒளிமூலங்கள் அமையலாம்.

15.4. நிலையான குறுக்கீட்டு விளைவிற்கான நிபந்தனைகள் :

ஆக்கக் குறுக்கீடு விளையும் இடங்களில் பெருமஒளியூட்டமும் அழிவுக் குறுக்கீடு விளையும் இடங்களில் இருளும் கொண்ட அமைவு, நல்ல ஒளிக் குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் எனப்படும். தெளிவான குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தைப் பெற கீழ்காணும் நிபந்தனைகள் சரிசெய்யப்பட வேண்டும்

i) மூல ஒளிமூலம் ஒற்றைநிற (Monochromatic) ஒளிஅலைகளைப் பரப்பல் வேண்டும். அப்படி ஒற்றைநிற ஒளியைப் பரப்ப இயலாத ஒளிமூலம் எனில், குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும் கற்றைகளுக்கிடையே மிகக் குறைந்தபாதை வேறுபாடு இருத்தல் வேண்டும்.

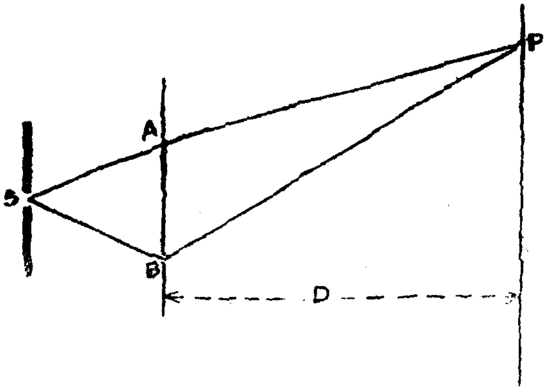
ii) குறுக்கீட்டு விளைவில் பங்கேற்கும் இரண்டு ஒளி மூலங்களும், ஒற்றைநிற ஒளி மூலமொன்றிலிருந்து பெறப்பட்டவையாக இருக்க வேண்டும். அப்பொழுதுதான் அவை ஓரியல்பு கொண்டவைகளாக இருக்க முடியும்.

iii) பயன்படும் ஓரியல் ஒளிமூலங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரம் மிகக் குறைவாக இருத்தல் வேண்டும்.

vi) குறுக்கீட்டு விளைவில் பங்கேற்கும் அலைகள் ஒரே திசையில் பரப்பப் படுதல் வேண்டும். இல்லையெனில் அலைகள் வெட்டிக் கொள்ளும் கோணங்கள் மிகக் குறைவான மதிப்பை கொண்டிருக்க வேண்டும்.

v) தளவிளைவு (Polarised) பெற்ற ஒளி அலைகளைப் பயன்படுத்தும் போது அவை சமஅளவு தளவிளைவுற்றவைகளாக இருத்தல் வேண்டும்.

15.5 குறுக்கீட்டு விளைவிற்கான பகுப்பாய்வு :



படம் 15.5

ஒளிமூலம் S-இலிருந்து ஒளி அலைகள் பரவி எதிரிலுள்ள A, B என்னும் நுண்துளைகள் கொண்ட திரையை ஒளியூட்டுவதாகக் கொள்வோம். A, B துளைகள் இரண்டாம் நிலை ஒளிமூலங்களாகச் செயல்பட்டு அலைகளைப் பரப்புகின்றன. (படம் 15.3). A, B இரண்டும் ஓரியல் ஒளிமூலங்களாக அமைகின்றன. இவற்றிலின்று புறப்படும் அலைகள் D தொலைவில் அமைந்துள்ள திரை மீதுள்ள புள்ளி P-யில் ஏற்படுத்தும் விளைவினைக் கருதுவோம்.

P-யை அடையும் இரு அலைகளும் சமவீச்சு 'a' கொண்டவையாகவும், நிலையான கட்டவேறுபாடு 'δ' கொண்டவையாகவும் உள்ளன எனக் கொள்வோம்.

P-யில் இரண்டு அலைகளும் ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சிகள் முறையே y_1, y_2 எனில்,

$$y_1 = a \sin \omega t$$

$$y_2 = a \sin (\omega t + \delta)$$ என எழுதலாம்.

அலைகள் மேற்பொருந்தும் தத்துவத்தினால், இருஅலைகளும் சந்திக்குமிடத்தில் அமையும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சியைக் காண அவற்றின் கூடுதல் காணவேண்டும். அக்கூடுதல் இடப்பெயர்ச்சி Y எனில்,

$$Y = y_1 + y_2$$

$$= a \sin \omega t + a \sin (\omega t + \delta) \qquad \text{——(1)}$$

தொகுபயன் அலையின் வீச்சு A எனவும்; அதன் தொடக்கக் கட்டம் α எனவும் கொண்டால்,

$$Y = A \sin (\omega t + \alpha) \qquad \text{——(2)}$$

என்று எழுதலாம்.

சமன்பாடுகள் 1, 2 இவைகளிலிருந்து,

$$A \sin (\omega t + \alpha) = a \sin \omega t + a \sin (\omega t + \alpha) \qquad \text{——(3)}$$

ஆகும்.

சமன்பாடு 3-இன் இரண்டு பக்கங்களையும் விரித்து எழுத,

$$A [\sin \omega t \cos \alpha + \cos \omega t \sin \alpha]$$

$$= a \sin \omega t + a [\sin \omega t \cos \alpha + \cos \omega t \sin \alpha]$$

$\sin \omega t$, $\cos \omega t$ இவைகளின் குணகங்களை (Coefficients) சமனுக்கி எழுத,

$$A \cos \alpha = a (1 + \cos \delta) \qquad \text{——(4)}$$

$$A \sin \alpha = a \sin \delta \qquad \text{——(5)}$$

என்னும் சமன்பாடுகள் கிடைக்கும்.

சமன்பாடுகள் 4, 5 இவைகளின் இருமடி கண்டு கூட்ட,

$$A^2 = 2a^2 + 2a^2 \cos \delta$$

$$= 2a^2 (1 + \cos \delta)$$

$$= 4a^2 \cos^2 \frac{\delta}{2} \left[\because 1 + \cos \delta = 2 \cos^2 \frac{\delta}{2} \right]$$

எனவே, $A = 2a \cos \dfrac{\delta}{2}$ — (6)

என்னும் சமன்பாடு கிடைக்கும்

சமன்பாடு 5-ஐ சமன்பாடு 4-ஆல் வகுக்க,

$$\tan\alpha = \frac{\sin\delta}{1+\cos\delta} = \frac{\sin 2\,\frac{\delta}{2}}{1+\cos\delta}$$

$$= \frac{2\sin\frac{\delta}{2}\cos\frac{\delta}{2}}{2\cos^2\frac{\delta}{2}}$$

$$= \frac{\sin\frac{\delta}{2}}{\cos\frac{\delta}{2}}$$

$$= \text{tna}\,\frac{\delta}{2} \qquad \text{——(7)}$$

சமன்பாடுகள் 6, 7, இரண்டும் முறையே தொகுபயன் அலையின் வீச்சையும், கட்டத்தையும் (Phase) கொடுக்கின்றன.

எனவே சமன்பாடு 6-இல்,

$$\frac{\delta}{2} = \frac{\pi}{2},\ \frac{3\pi}{2},\ \frac{5\pi}{2},\ \ldots\ldots\ldots\ldots(2n+1)\frac{\pi}{2}$$

ஆகும்.

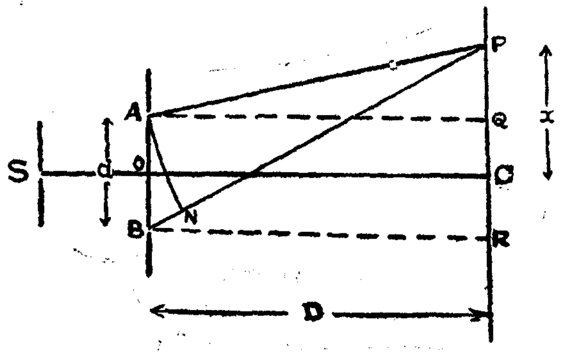
என்னும் மதிப்புகளைக் கொள்ளும்போது, தொகுபயன் அலையின் வீச்சு $A=O$ ஆகிறது. அதாவது கட்டவேறுபாடு δ, $\frac{\pi}{2}$-யினுடைய ஒற்றை எண்களின் (1, 3, 5 போன்றவை) பெருக்கற் பலனுக்குச் சமமானால், ஏற்படும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும். கட்டவேறுபாடு 2π ஆனது, பாதைவேறுபாடு λ-வுக்குச் சமமாகும். எனவே δ-வின் மதிப்பு π, 3π, 5π,...... ஆகும் பொழுது பாதை வேறுபாடு $\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}\ldots\right)$ என அரை அலை நீளத்தின் முழுஎண் பெருக்கற்தொகையாக அமைகின்றது. இந்நிலையில் முகடு, அகடு சந்திப்பு ஏற்படும். எனவே அலைகள் அழிவுக் குறுக்கீட்டு விளைவை உண்டாக்குகின்றன. அதாவது அலைகள் சந்திக்கும் புள்ளி இருளடைகின்றது.

மாறாக, $\delta = O$, 2π, 4π,............$2n\pi$ என அமைந்தால் பாதை வேறுபாடு (O, λ, 2λ, 4λ, ...$2n\lambda$) என அலைநீளத்தின் முழுஎண் பெருக்கற்பலனாக அமைகின்றது. அதாவது முகடு,முகடு சந்திப்பு அல்லது, அகடு, அகடு சந்திப்பு நிகழ்கின்றது. இதனால் ஏற்படும்

இடப் பெயர்ச்சி பெரும மதிப்பான $A = \pm 2a$ ஆகின்றது. புள்ளி யொன்றில் ஏற்படும் பொலிவு வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்குமா கையால் அலைகள் சந்திக்கும் புள்ளி பொலிவுமிக்கதாக இருக்கும். எனவே, இரு அலைகளும் ஆக்க குறுக்கீட்டு விளைவை உண்டாக்குகின்றன.

15-6. குறுக்கீட்டுப் பாங்க வரி அகலம் :

குறுகிய பிளவொன்றான S மூலம் ஒளி பரவி, சிறு தொலைவில் அமைந்துள்ள திரையின் மீதுள்ள பிளவுகள் A, B இரண்டையும் ஒளியூட்டுவதாகக் கொள்வோம். A, B இவற்றிற்கிடையேயான குறைந்த தொலைவை 'd' எனக் கொள்வோம். இவற்றினின்று இரண்டாம் நிலை அலைகள் தோன்றி மீண்டும் ஊடகத்தில் பரவுகின்றன. இந்த அலைகள் இவற்றினின்று D தொலைவில் வைக்கப்பட்டுள்ள திரையின் மீது ஏற்படுத்தும் விளைவைக் கருதலாம். முன்பே பார்த்தபடி திரையின் மீது பொலிவு வரிகளும், இருள் வரிகளும் அடுத்தடுத்து உண்டாக்கப் படுகின்றன. திரையின் மீதுள்ள C என்னும் புள்ளி பிளவுகள் A, B இரண்டிலிருந்தும் சமதொலைவில் அமைந்துள்ளது எனக்கொள்வோம். இதனால் A, B இரண்டிலிருந்தும் C-ஐ அடையும் அலைகள் சுழியப் பாதை வேறுபாட்டுடன் சந்திக்கும். C-பெரும ஒளியூட்டப் புள்ளியாக இருக்கும். திரையின் மீது தொலைவுகளை அளக்கும் பொழுது புள்ளி C-யை ஆதாரமாகக் கொண்டு அதனின்று மேலும் கீழும் அளக்க வேண்டும்.



படம் 15.4

படம் 15.4-இல் Q, R என்னும் புள்ளிகள் $AQ = BR = D$ இருக்குமாறு அமைந்துள்ளன எனக்கொள்வோம். திரையின் மீது C யிலிருந்து 'x' தூரத்தில் அமைந்துள்ள புள்ளி P-யில்

ஏற்படும் பொலிவு அல்லது இருள், A, B இவற்றினின்று வந்தடையும் அலைகளுக்கிடைப்பட்ட பாதை வேறுபாட்டைப் பொறுத்து அமையும். AP, BP இரண்டையும் வரையவும். பாதை வேறுபாட்டைக் காண P-ஐ மையமாகவும் PA-வை ஆரமாகவும் கொண்டு ஒரு வில் வரையவும். வில் BP-யை N-இல் சந்திக்கட்டும். AN மிகச்சிறிய தொலைவு ஆகையால் நேர்க்கோடாகவே கருதலாம்.

எனவே பாதை வேறுபாடு $= BP - AP$

$= BN$

BN-இன் மதிப்பை d, D, x-இவற்றினைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். $AB = d$ என்றும், அவற்றின் மையப்புள்ளி O என்றும் கொள்வோம். படம் 15.4-இல் D-யுடன் ஒப்பிட்டால் 'd' மிகச் சிறியதாகும்.

$\triangle$ AQP-யில்

$$AP^2 = D^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 \quad \left[\because CQ = \frac{d}{2}\right]$$

$\triangle$ BPR-இல்

$$BP^2 = D^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 \quad \left[\because CR = \frac{d}{2}\right]$$

$$\therefore BP^2 - AP^2 = \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$= \frac{4xd}{2}$$

$= 2xd$ ஆகும்,

இதனை

$(BP + AP)(BP - AP) = 2xd$ என எழுதலாம்.

இதில் $(BP + AP) = 2D$ எனக் கொள்ளலாம்.

$$\text{எனவே, } BP - AP = \frac{2xd}{2D}$$

$$= \frac{xd}{D}$$

எனவே P-யில் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு

$$= \frac{xd}{D} \qquad \text{---(1)}$$

(i) பொலிவு வரிகள் :

சமன்பாடு 1-ஆல் குறிக்கப்படும் பாதை வேறுபாட்டின் மதிப்பு சுழியமாகவோ அல்லது படும் ஒளியின் அலைநீளத்தின் முழு எண் பெருக்கற் தொகையாகவோ ($n\lambda$) இருந்தால் P பொலிவுடன் இருக்கும்.

எனவே P-யில் பொலிவு ஏற்பட,

$$\frac{xd}{D} = n\lambda$$

$$\therefore x = \frac{D}{d} n\lambda \qquad \text{——(2)}$$

இங்கு $n = 0, 1, 2, 3 \ldots$ என்னும் முழு எண் மதிப்புகளைக் கொண்டிருக்கும்.

சமன்பாடு 2-ஆனது C-யிலிருந்து பொலிவு வரிகள் அமையும் தொலைவுகளைக் கொடுக்கும். C-யில் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு சுழியம் ஆகையால் பொலிவு வரி உண்டாகின்றது.

சமன்பாடு 2-இல்

$$n = 1 \text{ எனில்}, \quad x_1 = \frac{\lambda D}{d}$$

$$n = 2 \text{ எனில்}, \quad x_2 = \frac{2\lambda D}{d}$$

$$n = 3 \text{ எனில்}, \quad x_3 = \frac{3\lambda D}{d}$$

....

$$\text{இதேபோன்று } x_n = \frac{n\lambda D}{d} \quad \text{ஆகும்.}$$

எனவே இரண்டு அடுத்தடுத்த பொலிவு வரிகளுக்கிடையேயான தூரத்தை 'β' எனக் கொண்டால்

$$x_2 - x_1 = \beta = \frac{2\lambda D}{d} - \frac{\lambda D}{d}$$

$$= \frac{\lambda D}{d} \text{ ஆகும்} \qquad \text{——(3)}$$

β-வின் இம்மதிப்பு வரிஅகலம் (Fringe width) எனப்படும்.

ii) இருள் வரிகள் :

P-யில் சந்திக்கும் அலைகளுக்கிடையேயான பாதை வேறுபாடு அரை அலைநீளத்தின் முழுஎண் பெருக்கற்பலனாக $\left(\frac{\lambda}{2}\, n\right)$ இருப்பின் P-யில் இருள்வரி ஏற்படும். இதன்படி,

$$\text{பாதை வேறுபாடு} = \frac{xd}{D} = (2n+1)\,\frac{\lambda}{2} \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அதாவது,}\qquad x = (2n+1)\,\frac{\lambda}{2}\,\frac{D}{d} \qquad\text{———(4)}$$

சமன்பாடு 4 ஆனது, C-யிலிருந்து இருள்வரிகள் அமையும் தொலைவுகளைக் கொடுக்கின்றது.

எனவே, $n=0$ எனில், $x_0 = \dfrac{\lambda D}{2d}$

$n=1$ எனில், $x_1 = \dfrac{3\lambda D}{2d}$

$n=2$ எனில், $x_2 = \dfrac{5\lambda D}{2d}$

....

இதேபோன்று $x_n = \dfrac{(2n+1)\lambda D}{2d}$ ஆகும்.

எனவே, இரண்டு அடுத்தடுத்த இருள் வரிகளுக்கிடையான தூரம்

$$x_2 - x_1 = \beta = \frac{5\lambda D}{2d} - \frac{3\lambda D}{2d}$$

$$\text{எனவே, வரி அகலம் } \beta = \frac{\lambda D}{d} \qquad\text{———(5)}$$

சமன்பாடுகள் 3, 5 இரண்டிலிருந்தும், அடுத்தடுத்த இரு பொலிவு வரிகளுக்கிடைப்பட்ட தூரமும்; இரண்டு அடுத்தடுத்த இருள் வரிகளுக்கிடைப்பட்ட தூரமும் ஒன்றாகவே அமைதல் தெளிவு. எனவே; ஒன்றுக்கொன்று இணையான இருள் வரிகளும்

பொலிவுவரிகளும் அடுத்தடுத்து அமைகின்றன. உண்டாகும் வரியின் வரிசை எண்ணை (Order)ப் பொறுத்து அமையாமல் எல்லா வரிகளும் சமஅகலம் கொண்டுள்ளன.

வரி அகலத்துக்கான சமன்பாட்டிலிருந்து,

வரி அகலமானது —

(i) பயன்படும் ஒளியின் அலைநீளம் λ-வுக்கு நேர் விகிதத்திலும்,

(ii) குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும் ஓரியல் ஒளிமூலங்களுக்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் D-க்கு நேர் விகிதத்திலும்,

(iii) இரு மூலங்களுக்கு இடைப்பட்ட தூரம் d-க்கு எதிர் விகிதத்திலும் உள்ளது என்பது தெளிவு.

எனவே, பயன்படும் ஒற்றை நிற ஒளி அதிக அலை நீளம் கொண்டிருந்தால், வரி அகலம் அதிகமாகும். கண்ணுறு பகுதியில் அமைந்துள்ள அதிக அலைநீளம் $\lambda = 5893$ A.U கொண்ட சோடியம் ஒற்றை நிற ஒளியே பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப் படுகின்றது.

திரைக்கும் ஒளிமூலங்களுக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தைப் அதிகரிப்பதின் முலம், மிகுந்த வரிஅகலம் உள்ள குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தை உண்டாக்கலாம். ஆனல் தூரம் மிகவும் அதிக மாக்கப்பட்டுவிட்டால் பாங்கத்தின் பொலிவு குன்றும். இரு மூலங்களைப் பெற பயன்படுத்தும் அமைப்புக்களில், அம் மூலங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரம் மிகவும் குறைந்த அளவு கொள்ளுமாறு உருவாக்கலாம். இதனலும் வரி அகலம் அதிகரிக்கும்.

15.7 குறுக்கீட்டு விளைவின் வகைகள் :

குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்தும் இரண்டு ஓரியல் ஒளி மூலங்களையும் மூல ஒளிமூலம் ஒன்றிலிருந்துதான் உண்டாக்க வேண்டும். அப்பொழுதுதான் அவை ஓரியல் ஒளிமூலங்களாக அமையும். இதனை இரண்டு வகைகளாகப் பெறலாம். படும் அலையின் அலைமுகப்பை பிரித்தல் (Division of wave front), படும் அலையின் வீச்சைப் பிரித்தல் (Division of amplitude) என அவைகள் இரண்டு வகைகளாகும்.

(i) அலைமுகப்பைப் பிரித்தல் :

இவ்வகையில் ஒளி ஏற்படுத்தும் நிகழ்வுகளான எதிரொளிப்பு, விலகல், விளிம்பு விளைவு போன்றவற்றில் ஏதாவதொன்றின் மூலம் அலைமுகப்பு இரண்டாகப் பிரிக்கப்படுகின்றது. பிரிந்த

அலைமுகப்புகள் தனித்தனி ஒளிமூலங்களிலிருந்து வருபவை போன்று வெவ்வேறு ஒளிப்பாதைகளில் பரவுகின்றன. ஆனால் மீண்டும் குறுகிய கோணமொன்றில் சந்திக்குமாறு செய்தால் குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்துகின்றன. இங்கு புள்ளி ஒளி மூலத்தையோ அல்லது நீள் ஒளிமூலத்தையோ பயன்படுத்தல் வேண்டும். ஃபிரன்னல் ஈராடி, ஃபிரன்னல் இரட்டைப் பட்டகம், லாய்டு ஒற்றைஆடி முதலிய அமைவுகள் அலைமுகப்பைப்பிரித்து குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்தும் பொருட்டு அமைக்கப்பட்டவை. அலைமுகப்பின் சிறுபகுதி மட்டுமே குறுக்கீட்டு விளைவில் பங்குபெறுவதால், விளிம்பு விளைவும் பெரும்பாலும் ஏற்படுகின்றது.

(ii) அலை வீச்சைப் பிரித்தல்:

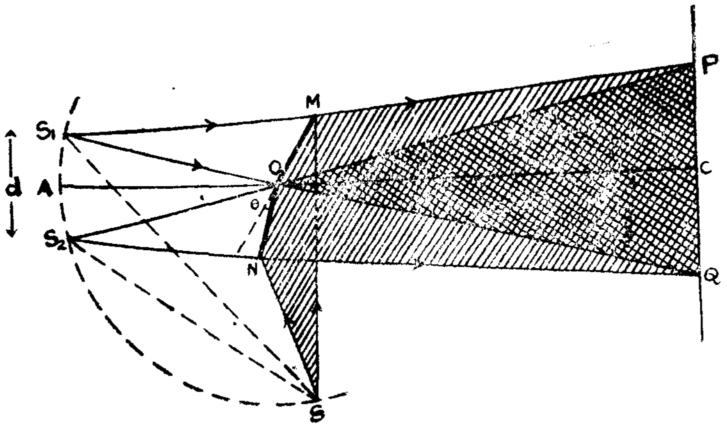
பகுதி எதிரொளிப்பு, பகுதி விலகல் ஏற்படுத்தும் சில அமைவுகள் மூலம், படும் அலையொன்றின் வீச்சைப் பிரிக்கலாம். படும் அலையின் வீச்சைப் பிரித்து இரண்டு அல்லது மேற்பட்ட ஒளிக்கற்றைகள் ஏற்படுமாறு செய்யலாம். இக்கற்றைகள் மீண்டும் இணையுமாறு செய்தால் ஒளிக்குறுக்கீடு விளைகின்றது. இங்கு அகண்ட ஒளிமூலத்தினைப் பயன்படுத்தலாம். படும் அலைமுகப்பில் பெரும்பகுதி பயன்படுத்தப் படுவதால் விளிம்புவிளைவு ஏற்படுதல் குறைக்கப்படும். ஆப்பு வடிவப்படலம், நியூட்டன் வளையங்கள், மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டுமானி ஆகியவை இந்த வகை விளைவைப் பயன்படுத்தும் சில அமைவுகள் ஆகும்.

அலைமுகப்பைப் பிரித்து ஒளிக் குறுக்கீடு:

15.8 ஃபிரன்னல் ஈராடி:

படும் அலைமுகப்பொன்றினை இரண்டாகப்பிரித்து, அவற்றினை இரு மூலங்களிலிருந்து வரும் ஓரியல் அலைமுகப்புகளாக ஏற்படுத்தி, பின்னர் இணைத்து, குறுக்கீட்டு விளைவினை உண்டாக்க ஈராடி அமைட்டை ஃபிரன்னல் பயன்படுத்தினார். படம் 15.5-இல் OM, ON என்பவை தாளின் பரப்புக்குக் குத்தாக அமைந்துள்ள இரண்டு தளஆடிகள். அவைகள் இணையும் இடத்தில், அவைகளுக்கிடைப்பட்ட கோணம் கிட்டதட்ட $180°$ ஆகும். (அதாவது ஒன்றின் நீடிப்பு மற்றதுடன் மிகசிறிய கோணம் 'θ' ஏற்படுத்தும்.) ஒற்றைநிற ஒளிகொண்டு ஒளியூட்டட சிறுதுளை S ஒளிமூலமாகச் செயல்படுகின்றது. ஒற்றைநிற ஒளியின் அலைநீளத்தை λ எனக் கொள்வோம். இதிலிருந்து செல்லும் ஒளிக்கற்றைகள் OM, ON

இவற்றின் மீது பட்டு எதிரொளிக்கப்படும். ஆடிக்கு முன்பக்கம் பரவும் ஒளிக்கதிர்கள், ஆடிகள் OM, ON இவற்றால் தோற்று



படம் 15.8

விக்கப்படும் மாய ஒளிமூலங்கள் S_1, S_2 இரண்டிலிருந்தும் பரவு பவை போல் தோன்றும். S_1, S_2 இரண்டும் மூல ஒளி மூலம் S-இலிருந்து பெறப்பட்டமையால், குறுக்கீட்டு விளைவை தோற்று விக்கும் ஒளிமூலங்களுக்கான நிபந்தனைகளை சரிசெய்பவையாக இருக்கும். இரண்டு கற்றைகளும் OPQ பகுதிகளில் மேற் பொருந்துகின்றன. இதனால், திரையின் மீது PQ பகுதியில் குறுக் கீட்டு விளைவின் வரிகள் தெரியும். S_1, S_2 இரண்டும் மாய ஒளி மூலங்களாகையால், அவற்றிற்கிடைப்பட்ட இடைவெளி 'd' யையும், அவற்றினின்று திரைக்குள்ள தொலைவு D-யையும் கணக்கிடல் கடினமானதாகும்.

இதற்கு $OS=a$ எனவும், $OC=b$ எனவும் கொள்வோம். ஆடிகளுக்கிடைப்பட்ட குறுங்கோணத்தை 'θ' எனக்கொள் வோம். SO என்னும் கதிர் இரண்டு ஆடிகளாலும் OP, OQ திசைகளில் எதிரொளிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இதனால் $\angle POQ = \angle S_1OS_2$ ஆகும். புள்ளிகள் S, S_1, S_2, A அனைத்தும் O-வை மையமாகக் கொண்ட வட்டத்தின்மேல் அமைந்துள்ளமையால், $OS=OS_1=OS_2=OA$ ஆகும்.

$$\therefore D = AC = a + b$$

$$d = OS_1 \times \sin 2\theta$$

$$= OS_1 \times 2\theta \quad [\because \theta \text{ மிகச்சிறியது}]$$

$$= 2a\theta$$

பகுதி 15.6-இல் சமன்பாடு 2-இல் உள்ளவாறு இங்கு உண்டாகும் பொலிவு வரியொன்றின் நிலையை

$$x_n = n\lambda \frac{D}{d}$$

$$= n\lambda \frac{(a+b)}{2a\theta}$$ என்று எழுதலாம்.

இரண்டு பொலிவு வரிகளுக் கிடைப்பட்ட இடைவெளியான வரி அகலம்.

$$\beta = x_{n+1} - x_n$$

$$= (n+1)\lambda \frac{(a+b)}{2a\theta} - n\lambda \frac{(a+b)}{2a\theta}$$

$$= \lambda \frac{(a+b)}{2a\theta}$$

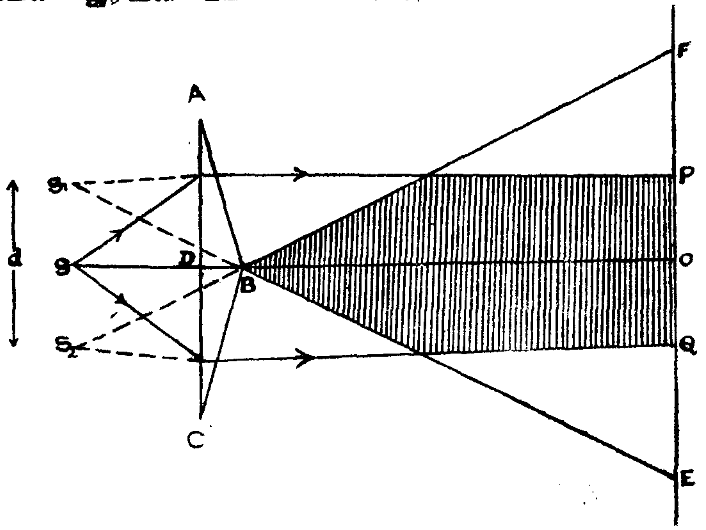
எனவே ஆய்வின் மூலம் β-வினைக் கணக்கிட்டால், ஒற்றைநிற ஒளியின் அலைநீளம் λ-வை,

$$\lambda = \beta \frac{2a\theta}{(a+b)}$$ என்னும் சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடலாம்

15.9 ∴ பிரனெலின் இரட்டைப் பட்டகம்:

மிகச்சிறிய விலகல் கோணம் ($1°$-க்கும் குறைவான) கொண்ட இரண்டு மென் பட்டகங்களை, அவற்றின் அடிப்பக்கங்கள் ஒன்றுடன் ஒன்று இணைந்திருக்கும்படி செய்து இரட்டைப்பட்டகம் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. படம் 15.6 உள்ள ABD ஒரு மென் பட்டகம்; BCD மற்ற மென் பட்டகம்; விலகல் கோணங்கள்

$\angle A = \angle C = \alpha$; $\angle ABC = (180-2\alpha)$; $\angle ADC = 180°$. இணைந்த நிலையில் இரட்டைப்பட்டகம் தடித்த கண்ணாடித் தகடு



படம் 15.6

ஒன்றினைப் போல் தோன்றும். இவ்வகை அமைப்பு கொண்ட ABC-தான் இரட்டைப்பட்டகமாகும்.

ஒற்றைநிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்ட குறுகிய பிளவு S மூல ஒளிமூலமாக உள்ளது. S இரட்டைப் பட்டகத்தின் முன்னால் வைக்கப்பட்டுள்ளது. S-இலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் பக்கம் ADC-யின் மீது விழுகின்றன. பட்டகங்களின் வழியாக விலகலடைந்து வரும் கதிர்களின் திசைகளைக் கவனித்தால், அவை S_1, S_2 என்னும் இரண்டு மாய மூலங்களிலிருந்து வருபவை போலத் தோன்றுகின்றன. எனவே S என்னும் ஒளிமூலத்திற்கு S_1, S_2 என்னும் இரண்டு மாய படிவங்கள் இரட்டைப்பட்டகத்தினால் உண்டாக்கப்படுகின்றன. S_1,S_2 இரண்டும் ஒற்றைநிற ஒளியினால் ஒளியூட்டப்பட்ட S-இன் படிவங்கள் ஆதலால் ஓரியல் ஒளிமூலங்களாகின்றன. எனவே, அவற்றினின்று வரும் ஒளி அலைகள் சந்தித்தால் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படும். மூலங்களிலிருந்து D தொலைவில் [$SO = D$ இருக்குமாறு] அமைக்கப்படும் திரையின் மீது குறுக்கீட்டு வரிகள் தோன்றும்.

$SB = a$ எனக்கொண்டால், S-இலிருந்து வரும் கதிர் SB-க்கு பட்டகம் ABD ஏற்படுத்தும் திசைமாற்றம் $(\mu - 1)\,\alpha$ ஆகும்.

எனவே, $\angle SBS_1 = \angle SBS_2 = (\mu - 1)\alpha$

மேலும், $SS_1 = \frac{d}{2} = SB(\mu - 1)\alpha = SS_2$

[$SS_1 = SS_2$, SB-யை ஆரமாகக் கொண்ட விற்கள்]

இதனால், $d = S_1S_2 = 2a(\mu - 1)\alpha$ ——(1)

முன்பகுதியில் பார்த்தபடி, பொலிவு வரியொன்று திரையின் மீதுள்ள நிலையை,

$$x_n = n\lambda\frac{D}{d} \quad \text{——(2)}$$

$$= n\lambda\frac{D}{2a(\mu - 1)\alpha} \quad \text{——(3)}$$

என்று எழுதலாம்.

வரி அகலம் : n ஆவது வரிக்கும், $(n+1)$ ஆவது வரிக்குமான சமன்பாடுகள்

$$x_{n+1} = (n+1)\lambda\frac{D}{2a(\mu-1)\alpha}$$

$$x_n = n\lambda\frac{D}{2a(\mu-1)\alpha}$$ ஆகும்.

எனவே, வரிஅகலம்

$$\beta = x_{n+1} - x_n = \lambda\frac{D}{2a(\mu-1)\alpha} \quad \text{——(4)}$$

இதனால் ஒற்றைநிற ஒளியின் அலைநீளம் λ-வை,

$$\lambda = \beta\frac{[2a(\mu-1)\alpha]}{D} \quad \text{——(5)}$$

என்னும் சமன்பாட்டின் மூலம் காணலாம்.

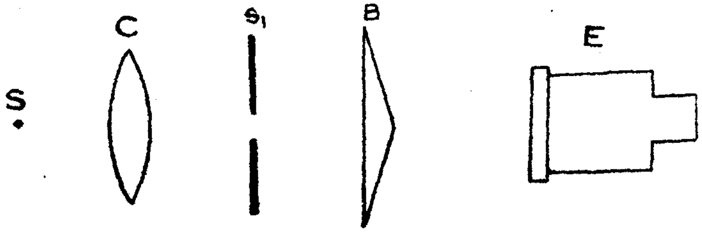
ஆனால் ஆய்வுக் கூடத்தில் ஒளியியல் பலகை (Optical bench) ஒன்றினைப் பயன்படுத்தி வரி அகலம் β, தொலைவு D-

இவற்றுடன் ஒளி மூலங்களுக் கிடைப்பட்ட இடைவெளி 'd'-யை நேரடி அளவுகள் மூலம் கண்டு λ கணக்கிடப்படுகிறது.

15.10 ஆய்வு மூலம் ஒற்றைநிற ஒளியின் அலைநீளம் காணல்:

குறுக்கீட்டு விளைவினைத் தோற்றுவிக்கும் ஒற்றைநிற ஒளியின் அலைநீளத்தைத் தீர்மானிக்கும் சிறந்த ஆய்வுக்கூட அமைப்பானது இரட்டைப்பட்டகத்தைக் கொண்டதாகும். ஒளியியல் பலகையொன்றின் மீது நகரும் வண்ணமுள்ள குத்து அமைவுகள் (Uprights) கொண்டு இரட்டைப்பட்டகம், பிளவு, நுண்ணளவி கொண்ட கண்ணருகி முதலியன பொருத்தப்பட்டுள்ளன.

படம் 15.7-இல் உள்ளவாறு பிளவு S_1 ஒற்றைநிற ஒளி மூலத்திலிருந்து வரும் பொலிவு மிக்க ஒளியால் ஒளியூட்டப்படுகின்றது. பிளவு ஆய்விற்கு ஒளிமூலமாக அமைகின்றது. பிளவிலிருந்து வரும் ஒளி இரட்டைப் பட்டகத்தின் மீது பட்டு விலகலடைகின்றது. விலகலுக்குப் பின்னர், பிளவினது இரு மாயப் படிவங்கள் பட்டகத்தினால் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இதனை பட்டகத்தின் பின்னால் கண்வைத்துப்பார்த்து அறியலாம். பிளவினின்று D தொலைவில் அமைந்துள்ள கண்ணருகி திரையாகச் செயல்படுகின்றது. பிளவு, பட்டகம், கண்ணருகி அனைத்தும் சரிசெய்யப்பட்ட சம உயரத்தில் இருக்கும்போது, கண்ணருகியின் குவிதளத்தில் குறுக்கீட்டு வரிகள் தோன்றும். தெளிவுவரிகள் தோன்ற பட்டகத்தின் நிலை, பிளவின் நிலை, ஒளியூட்டப்பட்டுள்ள தன்மை இவற்றினை சரிசெய்தல் வேண்டும்.



படம் 15.7

குறுக்கீட்டு வரிகளுக்குக் குத்தாக நகரும் வண்ணம் கண்ணருகி அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால், கண்ணருகியின் குத்துக் குறுக்குக் கம்பியை கடக்கும் வரிகளை கணக்கிடலாம். இதே

நேரத்தில், கண்ணருகி நகர்ந்துள்ள தொலைவை துல்லியமாக அளவிடலாம். எனவே குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கை கொண்ட வரிகளுக்கு நகர்ந்த தொலைவினைக் கண்டு, வரி அகலம் β-வை கணக்கிடலாம். D ஆனது மாயப்படிவங்களுக்கும் கண்ணருகியின் குவியத் தளத்திற்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு ஆகும். ஆனால், நேரடியாக இதனை அளத்தல் இயலாது. எனவே, ஆய்வில் பிளவு, பட்டகம் இவற்றின் நிலைகளை மாற்றாமல் ஒளியியல் சட்டத்தின் மீதுள்ள அளவுகோலில் D_1, D_2 என்னும் ஏதாவது இரு நிலைகளில் கண்ணருகியை அமைத்து வரி அகலங்கள் β_1, β_2 தீர்மானிக்கப் படுகின்றன.

இவற்றினைக் கொண்டு

$$\beta_1 = \frac{D_1}{d}\lambda \qquad \text{——(1)}$$

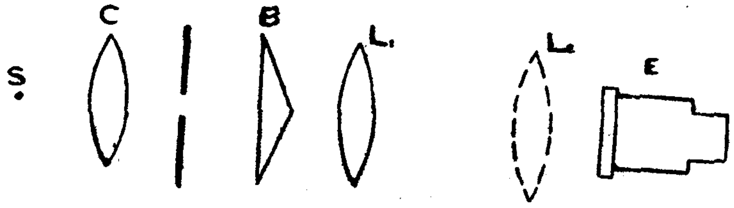
$$\beta_2 = \frac{D_2}{d}\lambda \qquad \text{——(2)}$$

என்னும் இருசமன்பாடுகளை அமைக்கலாம். இச்சமன் பாடுகளிலிருந்து $(2)-(1)$ ஐக்காண

$$\beta_2-\beta_1 = \frac{\lambda}{d}\,[D_2 - D_1] \qquad \text{——(3)}$$

எனவே, $$\lambda = \frac{(\beta_2-\beta_1)}{(D_2-D_1)}\,d \qquad \text{——(4)}$$

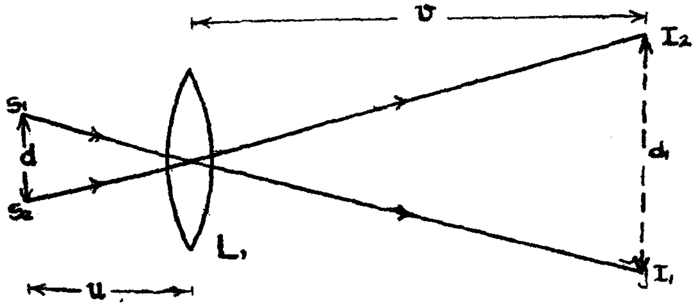
ஆகும். இச்சமன்பாட்டில் தெரியாத அளவு, மாயமூலங்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு d ஆகும். இதனைக் காண இரட்டைப் பட்டகத்திற்கும் கண்ணருகிக்கும் இடையே குறைந்த குவியத்



படம் 15.8

தூரமுள்ள குவிவில்லை யொன்று வைக்கப்பட வேண்டும். வில்லை யின் குவியத் தூரம் f எனில் (10 செ. மீ) பட்டகத்திற்கும் கண்ணருகிக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு $4f$-க்கு அதிகமாக இருக்கும் பொழுது, வில்லையின் இரண்டு நிலைகளுக்கு [படம் 15.8-இல்

காட்டப்பட்டுள்ளவாறு] ஒளிமூலங்களின் தெளிவான உண்மைப் படிவங்கள் E-யில் கிடைக்கும். வில்லையானது L_1 நிலையில் இருக்கும்பொழுது படிவங்கள் உருப்பெருக்கப்பட்டு இடைவெளி அதிகம் கொண்டு தோன்றும். இரண்டிற்குமிடைப்பட்ட தொலைவைக் கண்ணருகியின் நுண்ணளவியின் மூலம் காணலாம். இதனை d_1 எனக் கொள்வோம். இந்நிலையில் படிவங்கள் தோன்று

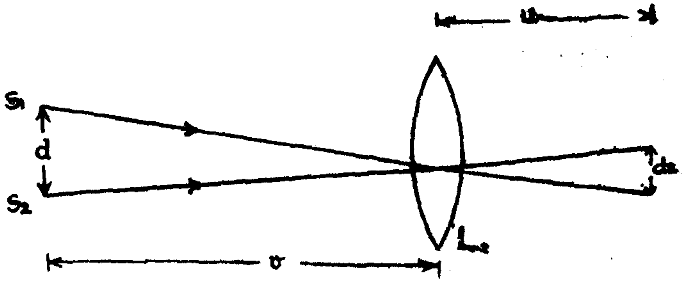


படம் 15.9

தலை படம் 15.9-இல் உள்ளவாறு கொள்ளலாம். ஒளி மூலங்கள் வில்லையினின்று 'u' தொலைவிலும், படிவங்கள் வில்லையினின்று 'v' தொலைவிலும் இருக்கின்றன. எனவே,

$$\frac{d}{u} = \frac{d_1}{v} \qquad \text{——(5)}$$

அடுத்து வில்லையினை மட்டும் படம் 15.10-இல் உள்ளவாறு L_2 நிலைக்கு கொண்டு சென்றால் படிவங்கள் அமைதலை, படத்தில் உள்ளவாறு கொள்ளலாம். இங்கு S_1, S_2 இவைகளுக்கு I_1', I_2'



படம் 15.10

என்னும் படிவங்கள் d_2 தொலைவு இடைவெளியில் அமைகின்றன. L_1, L_2 இரண்டும் வில்லையின் பரிமாற்று நிலைகள் ஆதலால்

u, v இரண்டு தொலைவுகளும் மாறி அமைகின்றன. எனவே,

$$\frac{d}{v} = \frac{d_2}{u} \qquad \text{——(6)}$$

சமன்பாடுகள் (5), (6) இரண்டையும் முறையே

$$\frac{d}{d_1} = \frac{u}{v} \qquad \text{——(7)}$$

$$\frac{d}{d_2} = \frac{v}{u} \qquad \text{——(8)}$$

என எழுதலாம்

மேலும், (7)×(8)

$$\frac{d}{d_1} \times \frac{d}{d_2} = \frac{u}{v} \times \frac{v}{u} = 1$$

$$d^2 = d_1 d_2$$

$$\text{அல்லது } d = \sqrt{d_1 d_2}$$

ஆய்வின் மூலம் d_1, d_2 இரண்டினையும் காணலாம்.

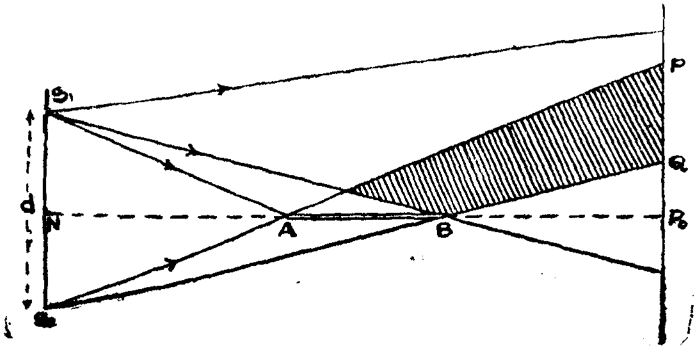
எனவே சமன்பாடு 4-இல், $d = \sqrt{d_1 d_2}$-வை பதிலீடு செய்ய,

$$\lambda = \frac{(\beta_2 - \beta_1)}{(D_2 - D_1)} \sqrt{d_1 d_2} \text{ ஆகும்.}$$

15.11 லாய்டு ஆடி:

படும் அலைமுகப்பைப் பிரித்து குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்தும் அமைவுகளில் மற்றுமொரு எளிய முறை லாய்டு (Lloyd) அவர்களால் 1834-ஆம் ஆண்டு அமைக்கப் பட்டது. தடித்த தள ஆடியொன்றைக் கொண்டு இவ்வமைப்பு செய்யப்பட்டது.

படம் 15.11-இல் AB என்பது தாளின் தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ள தள ஆடியாகும். S_1 என்பது ஒற்றை நிற ஒளியினால் ஒளி



படம் 15.11

யூட்டப்பட்ட பிளவு. இது ஆடியின் தளத்திற்கு இணையாகவும், தாளின் தளத்திற்குக் குத்தாகவும் உள்ளது. S_1-இலிருந்து ஆடியின் மீது படும் கதிர்கள் கிட்டத்தட்ட தவழ்நிலையாக உள்ளன. எதிரொளிப்பிற்குப் பின்னர் பரவும் கதிர்கள் திரையின் மீது PQ பகுதியில் விழுகின்றன. இவை ஆடியின் எதிரொளிப்பினால் ஏற்படும் படிவம் S_2-இலிருந்து பரவுபவைப் போல தோன்றுகின்றன. இத்துடன் S-இலிருந்து பரவும் கதிர்களும் திரையின் மீது நேரடியாக PQ பகுதியில் விழுகின்றன. எனவே திரையின் மீது விழும் கதிர்களை S_1, S_2 என்னும் இரண்டு ஓரியல் மூலங்களிலிருந்து பரவுபவை எனக் கொள்ளலாம். இதனால் இவை திரையின் மீது சந்திக்கும் பகுதியான PQ பகுதியில் குறுக்கீட்டு வரிகள் தோன்றும். திரையின் மீது S_1,S_2 இவைகளிலிருந்து சமதூரத்தில் அமைந்துள்ள P_0-வில் S_1-இலிருந்து வரும் ஒளிமட்டுமே படுகின்றது. எதிரொளித்த ஒளி P_0-வை அடைவதில்லை. எனவே, பாதைவேறுபாடு சுழியமாக இருக்கும் பொழுது உண்டாகும் மையவரி, குறுக்கீட்டு பாங்கத்தில் இருக்காது. ஆக ஒரு பக்கத்தில் ஏற்படும் வரிகள் மட்டுமே தோன்றும்.

மேலும் இம்முறையில் அடர்வு மிகுந்த ஊடகத்தை பின்னணியாகக் கொண்டு ஏற்படும் எதிரொளிப்பின் மூலம் பெறப்படும் கதிர்களில் கட்ட வேறுபாடு π உண்டாக்கப்படுகின்றது. [பகுதி 16.2-இல் எதிரொளிப்பினால் ஏற்படும் கட்ட மாற்றம் விவரிக்கப்பட்டுள்ளது]. எனவே ஆக்கக் குறுக்கீடு, அழிவுக் குறுக்கீடு இவைகளுக்கான நிபந்தனைகள், இரட்டை

பட்டகத்தினின்று மாறுபட்டவையாக உள்ளன. இதன்படி P-யில் அமையும் வரியின் தன்மையினை, பாதை வேறுபாடு $S_2P - S_1P = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ எனில், பொலிவு வரி என்றும் $S_2P - S_1P = n\lambda$ எனில், இருள் வரியென்றும் கொள்ள வேண்டியுள்ளது.

இங்கும் $\beta = \frac{D}{d}\lambda$ என்னும் சமன்பாடு பொருந்தும். படம் 15.11- இல் ஒளி மூலங்களை இணைக்கும் $S_1 S_2$ கோட்டிற்கும் திரைக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் $D(=P_0N)$ ஆகும். $S_1N = \frac{d}{2}$ ஆகையால் d-யை கணக்கிடலாம். எனவே திரைக்குப் பதிலாக நுண்ணளவி கொண்ட கண்ணருகியைப் பயன்படுத்தி வரி அகலம் கண்டு λ-வை தீர்மானிக்கலாம்.

15.12 இரட்டைப்பட்டக குறுக்கீட்டு வரிகளையும், லாய்டு குறுக்கீட்டு வரிகளையும் ஒப்பிடுதல்.

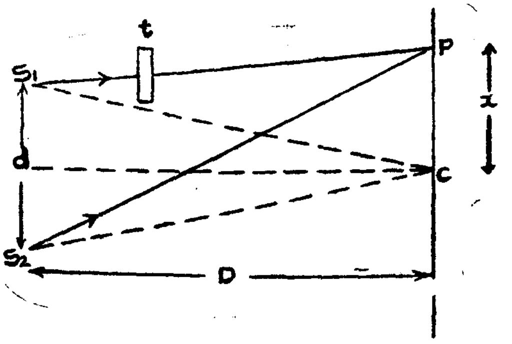
எண்	ஃபிரன்னல் இரட்டைப் பட்டகம்	லாய்டு ஆடி
1.	மைய வரிக்கு இருபுறங்களிலும் குறுக்கீட்டு வரிகள் தோன்றும்	மையவரிக்கு ஒரு பக்கத்தில் அமையும் வரிகள் மட்டுமே பார்வை புலத்தில் தெரியும்
2.	மைய வரி நேரடியாகத் தெரியும்.	மைய வரியை நேராகப் பார்க்க இயலாது. ஆனல், மைக்கா தகடு ஒன்றினை குறுக்கீட்டு விளைவில் பங்கு கொள்ளும் கதிரின் பாதையில் வைப்பதின் மூலம் பார்வைப் புலத்திற்குக் கொண்டு வர இயலும்
3.	மையவரி பொலிவு மிக்கதாக இருக்கும்	மையவரி இருள் வரியாக அமையும். ஏனெனில், எதிரொளிப்பினல் கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு π அளவு ஏற்படுகின்றது

எண்	ஃபிரனெல் இரட்டைப் பட்டகம்	லாய்டு ஆடி
4.	வெள்ளொளியினால் ஏற்படும் குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தில் நிறங்கொண்ட சில வரிகள் மட்டுமே தோன்றும்	வெள்ளொளிக்கு அடுத்தடுத்த வெள்ளை இருள் வரிகள் பல தோன்றும்
5.	பாதை வேறுபாடு $n\lambda$ எனில் பொலிவு வரியும், $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$ எனில் இருள் வரியும் தோன்றும்	எதிரொளிப்பினால் ஏற்படும் கட்ட வேறுபாடு π ஆகையால், பாதை வேறுபாடு $n\lambda$ எனில் இருள் வரியும், $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$ எனில் பொலிவு வரியும் தோன்றும்

15. 13 வரிகளின் இடப்பெயர்ச்சி:

குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும் ஒளி மூலங்களில் ஒன்றிலிருந்து செல்லும் அலைத்தொடர்களின் பாதையில் ஒளிபுகும் பொருளொன்று வைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். பொருளின் தடிமம் t என்றும் அதன் பருப்பொருளின் விலகல் எண் μ என்றும் கொள்வோம்.

படம் 15.12-இல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு S_1, S_2 இவற்றை ஒளி மூலங்கள் என்றும், அவற்றிற்கு இடைப்பட்ட தூரம் d



படம் 15.12

என்றும் கொள்வோம். திரையொன்று ஒளி மூலங்களிலிருந்து D தூரத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளதாகக் கொள்வோம். திரையின்

மீது P என்னும் புள்ளியைக் கருதுவோம். இப்புள்ளி, மையம் C-யிலிருந்து 'x' தூரத்தில் இருப்பதாகவும்; 'பொருள், S_1P என்னும் பாதையில் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகவும் கொள்வோம். ஒளிப்பாதைகள் S_2P, S_1P இவைகளுக்கிடைப்பட்ட பாதை வேறுபாடு $= S_2P - [$காற்றில் $(S_1P - t) +$ ஊடகத்தில் $t]$. ஊடகத்தில் பாதை வேறுபாடு = தடிமம் $\times$ ஒளிவிலகல் எண். எனவே,

$$\text{பாதை வேறுபாடு} = S_2P - [(S_1P - t) + \mu t]$$

$$= (S_2P - S_1P) - (\mu - 1)t$$

இப்பாதை வேறுபாடு $n\lambda$-வாக இருந்தால், P ஒளிமிக்க புள்ளியாக அமையும்.

$$\text{அதாவது, } (S_2P - S_1P) - (\mu - 1)t = n\lambda$$

$$\text{ஆனால், } \quad S_2P - S_1P = \frac{d}{D}x$$

$$\text{எனவே, } \quad \frac{d}{D}x - (\mu - 1)t = n\lambda$$

$$\frac{d}{D}x = (\mu - 1)t + n\lambda$$

$$x = \frac{D}{d}[(\mu - 1)t + n\lambda]$$

இச்சமன்பாட்டில் $n = 0$ எனில், மையம் C-யில் அமைய வேண்டிய வரி x_0 தொலைவு நகர்த்தப்படுவதாகக் கொள்வோம்.

$$x_0 = \frac{D}{d}(\mu - 1)t \qquad ———(1)$$

எனவே, முதல்வரி அமையும் தொலைவு,

$$x_1 = \frac{D}{d}\left[(\mu - 1)t + \lambda\right]$$

இரண்டாவது வரி அமையும் தொலைவு,

$$x_2 = \frac{D}{d}\left[(\mu - 1)t + 2\lambda\right]$$

இருவரிகளுக்கிடைப் பட்ட தூரம்

$$x_2 - x_1 = \frac{D}{d}\Big[(\mu-1)t+2\lambda\Big] - \frac{D}{d}\Big[(\mu-1)t+\lambda\Big]$$

$$= \frac{D}{d}\lambda$$

இதிலிருந்து குறுக்கீட்டு பாங்கத்தின் வரி அகலம் மாறுவதில்லை என்பது தெளிவு. ஆனால் வரி பாங்கமே திரையின் மீது ஒரு பக்கமாக $x_0 = \frac{D}{d}(\mu-1)\,t$ தூரம் இடமாற்றம் அடைகின்றது. ஏதாவது சோதனை மூலம் இந்த இடப்பெயர்ச்சியை அளந்து, மற்ற மதிப்புகளான D, d, t, ஆகியவை தெரிந்தால் பொருளின் ஒளிவிலகல் எண் μ – வைக் கணக்கிடலாம்.

ஒற்றை நிற ஒளியைக் கொண்டு உண்டாக்கப்படும் குறுக்கீட்டுப்பாங்கத்தில் வரிகள் எல்லாம் ஒன்றுபோல் அமைந்திருக்கும். மேலும் பொருளை ஒளிப் பாதையொன்றில் வைத்தால் வரிகள் விரைவாக இடப்பெயர்ச்சி அடையும். எனவே, மையத்திலிருந்த வரியை மற்ற வரிகளிலிருந்து பிரித்தறிய இயலாது. ஆனால், வெள்ளொளியைக் கொண்டு குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தை உண்டாக்கினால், மையத்தில் அமையும் வரி இருளாகவும், மற்ற வரிகள் வெவ்வேறு நிறங்களைக் கொண்டும் அமைந்திருக்கும். இதனால் மையவரியை மற்ற வரிகளிலிருந்து பிரித்தறிய இயலும்.

எனவே, முதலில் வெள்ளொளியைக் கொண்டு குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தினை உண்டாக்க வேண்டும். நுண்ணளவி கொண்ட கண்ணருகிவில்லையின் குத்துக் குறுக்குக் கம்பியுடன் (Vertical cross wire) மைய இருள்வரி பொருந்துமாறு செய்து அளவினைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். பின்னர் ஒளிப்பாதையொன்றில் μ காணவேண்டிய பொருளை வைக்க, மைய இருள்வரி இடப்பெயர்ச்சி அடைகின்றது. நுண்ணளவியை திருகி மீண்டும் குத்துக் குறுக்குக் கம்பி இருள்வரியுடன் ஒன்றுமாறு செய்து அளவினை எடுக்கவேண்டும். இவ்விரு அளவுகளுக்குமான வேறுபாடு இடப்பெயர்ச்சியைக் கொடுக்கும்.

அடுத்து ஒற்றை நிற ஒளியைக் கொண்டு குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தை உண்டாக்க வேண்டும். தெளிவான வரிகள் கிடைத்தவுடன் வெள்ளொளி ஆய்வில் இருள்வரி இடப்பெயர்ச்சி அடைந்த தொலைவிற்குச் சமமான அளவு நகர்த்தும் பொழுது,

குறுக்குக் கம்பியை கடக்கும் வரிகளை கணக்கிட வேண்டும். கடக்கும் வரிகளின் எண்ணிக்கை n எனவும் வரி அகலம் (Fringe width) β எனவும் கொண்டால், இடப் பெயர்ச்சி $x_0 = n\beta$ ஆகும்.

அதாவது, $n\beta = \frac{D}{d}(\mu-1)\,t$ ——(2)

ஆனால், $\beta = \frac{D}{d}\lambda$

எனவே இம்மதிப்பை பதிலீடு செய்ய $(\mu - 1)\,t = n\,\lambda$ என கிடைக்கும். n, λ, t, ஆகியவை தெரிந்தால் μ-வைக் கணக்கிட இயலும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. $5{,}400 \times 10^{-10}$ மீட்டர் அலை நீளம் கொண்ட ஒற்றை நிற ஒளியானது, ஒற்றை பிளவொன்றிலிருந்து சிறிது தூரத்தில் அமைந்துள்ள இரட்டைப் பிளவின் மீது படுகின்றது. மொத்தம் திரையின் 10 குறுகீட்டு வரிகள் கொள்ளும் அகலம் 0.02 மீட்டரும், திரையானது இரட்டை பிளவிலிருந்து 1 மீட்டர் தொலைவும் கொண்டிருந்தால், இரட்டை பிளவுகளுக்கிடைப்பட்ட தொலைவைக் கணக்கிடுக.

கணக்கின்படி,

$$\lambda = 5{,}400 \times 10^{-10} \text{ மீட்டர்}$$

$$D = 1 \text{ மீட்டர்}$$

வரி அகலம் $\beta = \frac{0.02}{10} = 0.002$ மீ.

$d = \frac{D}{\beta}\lambda$ என்னும் சமன்பாட்டில், d-தான் பிளவுகளுக்கிடைப்பட்ட இடைவெளி.

$$\therefore \beta = \frac{D}{d}\lambda$$

$$= \frac{1}{0.002} \times 5{,}400 \times 10^{-10}$$

$$= 27 \times 10^{-5} \text{ மீட்டர்.}$$

2. 176° கோணம் கொண்ட இரட்டைப் பட்டகமொன்று, 1·5 விலகல் எண் கொண்ட கண்ணாடியால் செய்யப்பட்டது. ஒற்றை நிற ஒளியால் ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவொன்று 0.2 மீட்டர் தூரத்தில் வைக்கப் பட்டுள்ளது. இரட்டைப் பட்டகத்தில் இருந்து 0.8 மீட்டர் தொலைவில் உள்ள திரையின் மீது உண்டாகும் வரிகளின் அகலம் 8.25×10^{-5} மீ. எனக் கணக்கிடப் படுகின்றது. பயன்படும் ஒளியின் அலை நீளத்தைக் கணக்கிடுக.

$$\text{வரி அகலம் } \beta = \frac{D}{d}\lambda$$

$$D = 0\cdot2 + 0\cdot8$$

$$= 1 \text{ மீட்டர்}$$

$$\beta = 8\cdot25\times10^{-5} \text{ மீட்டர்}$$

தெரியாத அளவு d ஆகும்.

d-யை கீழ்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்

$$\frac{\theta}{2} = (\mu-1)\,\alpha$$

$$\mu = 1.5$$

$$\alpha = \frac{180-176}{2}$$

$$= 2^\circ$$

$$= \frac{2\pi}{180} \text{ ரேடியன்கள்}$$

அல்லது, $\theta = 2\,(1.5-1) \times \frac{2\pi}{180}$

இரண்டு பிளவுகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம்,

$$S_1S_2 = d = a\times\theta$$

$$\therefore d = 0.2\times2\;(1\cdot5-1)\;\frac{2\pi}{180}$$

$$= \frac{0 \cdot 4 \times \pi}{180}$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{\beta d}{D}$$

$$= \frac{8.25 \times 10^{-5}}{1} \times \frac{0 \cdot 4 \times \pi}{180}$$

$\lambda = 5{,}700 \times 10^{-10}$ மீட்டர்.

3. ஃபிரென்னல் இரட்டைப் பட்டக ஆய்வொன்றில் வரி அகலம் $1 \cdot 96 \times 10^{-4}$ மீட்டர் என்று தீர்மானிக்கப்பட்டது. திரைக்கும் பிளவுக்குமான தொலைவு 1 மீட்டர். இரட்டைப் பட்டகத்திற்கும் கண்ணருகி (Eye-piece)-க்கும் இடையே குவி வில்லையொன்று வைக்கப் படுகின்றது. இதனால் மாய ஒளி மூலங்களின் படிவங்கள் தோன்றும் பொழுது, பிளவுக்கும் கண்ணருகிக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு 1 மீட்டர். வில்லை பிளவிலிருந்து 0·3 மீட்டர் தொலைவில் உள்ளது. மாயப்படிவங்களுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு 7×10^{-3} மீட்டர். பயன்படும் ஒளியின் அலை நீளத்தைக் கணக்கிடுக.

கணக்கின்படி, $\beta = 1 \cdot 96 \times 10^{-4}$ மீட்டர்

$D = 1$ மீட்டர்

d-ஐ கணக்கிட,

$$\frac{\text{படிவத்தின் அளவு}}{\text{பொருளின் அளவு}} = \frac{\text{வில்லையிலிருந்து படிவ தூரம்}}{\text{வில்லையிலிருந்து பொருள் தூரம்}}$$

கணக்கின்படி, படிவத்தின் அளவு $= 7 \times 10^{-3}$ மீட்டர்

படிவ தூரம் $= 1 - 0{\cdot}3 = 0.7$ மீட்டர்

பொருள் தொலைவு $= 0.3$ மீட்டர்

$$\therefore \quad \frac{7 \times 10^{-4}}{d} = \frac{0 \cdot 7}{0 \cdot 3}$$

$$d = \frac{7 \times 10^{-4}}{0 \cdot 7} \times 0 \cdot 3$$

$$= 0 \cdot 3 \times 10^{-4}$$

$$= 3 \times 10^{-5} \text{ மீட்டர்.}$$

4. அலை நீளம் 6×10^{-7} மீட்டர் கொண்ட ஒற்றை நிற ஒளி கொண்டு ஃபிரன்னல் குறுக்கீட்டு வரிகள் உண்டாக்கப் படுகின்றன. விலகல் எண் $\mu = 1 \cdot 5$ கொண்ட கண்ணாடித் தகடொன்று, குறுக்கீட்டு விளைவினை தோற்றுவிக்கும் கற்றைகளில் ஒன்றின் பாதையில் வைக்கப் படுகின்றது. மைய வரி, முன்பு 5-வது பொலிவு வரி நிலைக்கு இடப் பெயர்ச்சி செய்யப்படுகின்றது. தகட்டின் தடிமனைக் கணக்கிடுக.

அடையும் இடப்பெயர்ச்சியை x_0 எனில்.

$$x_0 = \frac{\beta}{\lambda} \times (\mu - 1)t$$

ஆனால், $x_0 = 5\beta$

$$\therefore 5\beta = \frac{\beta}{\lambda}(1 \cdot 5 - 1)t$$

$$\therefore t = \frac{5 \times 6 \times 10^{-7}}{(1 \cdot 5 - 1)}$$

$$= 6 \times 10^{-6} \text{ மீட்டர்.}$$

வினாக்கள்

1. ஒரியல் ஒளிமூலங்கள் என்றால் என்ன? ஆய்வுகளை மேற்கொள்ளும் பொழுது எப்படி ஏற்படுத்தப் படுகின்றன?

ஃபிரன்னல் இரட்டைப் பட்டகத்தைக் கொண்டு கொடுக்கப் பட்ட ஒற்றை நிற ஒளியின் அலை நீளத்தை எவ்வாறு காணலாம் என்பதை கொள்கையுடன் விளக்குக.

2. குறுக்கீட்டு விளைவிற்கான பகுப்பாய்வை கொடுக்கவும். குறுக்கீட்டு பட்டைக வரிஅகலத்திற்கான வாய்ப்பாட்டைப் பெறுக.

3. குறுக்கீட்டு விளைவில் வரி அகலத்திற்கான சமன்பாட்டைப் பெறுக. ஃபிரன்னல் இரட்டைப் பட்டக முறையில் ஒற்றை நிற ஒளியின் அலைநீளம் காணுதலை விளக்குக.

4. குறுக்கீட்டு வரிகளின் இடப்பெயர்ச்சி மூலம் கொடுக்கப்பட்ட ஒளிபுகும் மென்தகடொன்றின் தடிமன் காண இயலும் முறையினை கொள்கையுடன் விளக்கவும்.

குறுக்கீட்டு விளைவினை உண்டாக்கும் இரண்டு கற்றைகளின் ஒன்றின் பாதையில் 6.3×10^{-6} மீட்டர் தடிமம் கொண்ட ஒளி புகும் பொருளால் ஆன மென்தகடு வைக்கப்படுகின்றது. இதனால் மைய வரியானது முன்பு 6-வது பொலிவு வரி இருந்த இடத்திற்கு இடப்பெயர்ச்சி அடைகின்றது. பயன்படும் ஒளியின் அலைநீளம் $5,460\times10^{-10}$ மீட்டர் எனில், மென்தகடு செய்யப்பட்டுள்ள பொருளின் விலகல் எண்ணைக் கணக்கிடவும்.

5. இரட்டைப் பட்டக ஆய்வொன்றில் கண்ணருகிக்கும் ஒளி மூலத்திற்கும் இடைப்பட்டத் தொலைவு 1.2 மீட்டர். இரண்டு மாய ஒளிமூலங்களுக்கும் இடைப்பட்டத் தொலைவு 0.75×10^{-3} மீட்டர். 20 குறுக்கீட்டு வரிகள் கண்ணருகியின் குறுக்கீட்டுக் கம்பியை கடக்கும்பொழுது, கண்ணருகியின் திருகு அளவி நகர்ந்த தூரம் $1,838\times10^{-2}$ மீட்டர் என்றால், பயன்படும் ஒளிமூலத்தின் அலை நீளத்தைக் கணக்கிடுக.

[$5,900\times10^{-10}$ மீட்டர்]

6. லாய்டு ஒற்றை ஆடிக்கொண்டு குறுக்கீட்டு பாங்கத்தை பெறும் முறையை கொள்கையுடன் விளக்கவும்.

ஃபிரன்னல் இரட்டைப் பட்டக முறையில் கிடைக்கும் குறுக்கீட்டு வரிகளையும், லாய்டு ஆடியில் கிடைக்கும் குறுக்கீட்டு வரிகளையும் ஒப்பிடுக.

16. அலைவீச்சைப் பிரித்து ஒளிக் குறுக்கீடு.

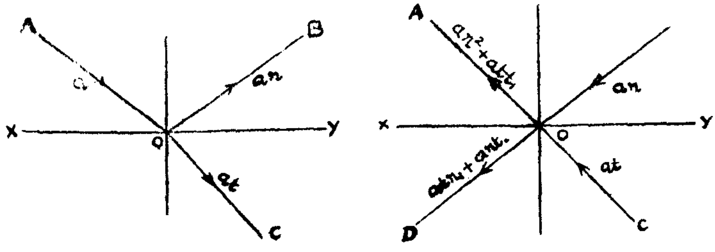
16.1 படும் அலையின் வீச்சைப் பிரித்தல்:

படுஅலையின் வீச்சை பகுதி எதிரொளிப்பு, பகுதி விலகல் மூலம் பிரித்து மீண்டும் சேர்ப்பதனால் குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்தலாம். இங்கு எதிரொளித்த பகுதி, விலகலடைந்த பகுதி இரண்டிலும் ஒப்புமைக் கொண்ட புள்ளிகள் இருக்குமாதலால் மீண்டும் ஒன்று சேருமாறு செய்வதன் மூலம் குறுக்கீட்டுவிளைவினை ஏற்படுத்த இயலும். அகன்ற ஒளி மூலங்களைப் பயன்படுத்தி வீச்சைப் பிரித்து பொலிவுமிக்க குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தை உண்டாக்குவது பயன்தருவதாகும். ஆனால் அடர்வு மிகுந்த ஊடகத்தை பின்னணியாகக் கொண்டு எதிரொளிப்பு நிகழும் பொழுது கட்டம் π அளவு மாறுபடுகின்றது. அடுத்த பகுதி 16.2-இல் உள்ளவாறு ஸ்டோக் (Stock) என்பார் எதிரொளிப்பு, விலகல் ஆகியவற்றிற்குக் கொடுத்த விளக்கத்தினைக் கொண்டு இதனைத் தெளியலாம்.

இந்தக்கட்ட மாறுபாடு ஏற்படுவதனால் இவ்வகையில் பொலிவு வரிக்கும், இருள் வரிக்குமான நிபந்தனைகள் இரட்டை பட்டகத்தில் கண்டவைகளுக்கு முற்றிலும் மாறுபட்டவையாக இருக்கும். காற்று ஆப்பு (Air wedge), நியூட்டன் வளையங்கள் (Newtons rings) மற்றும் குறுக்கீட்டு விளைவுமானிகள் வீச்சைப் பிரித்தலின் மூலம் செயல்படுபவைகளாகும்.

16.2 எதிரொளிப்பு, விலகல்—ஸ்டோக் விளக்கம்:

ஒரே நேரத்தில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பு, விலகல் இவற்றைக் கணித முறையில் ஆய்ந்து ஸ்டோக் சில உண்மைகளைக் கொடுத்தார். படம் 16.1-இல் XY என்பது காற்றுக்கும் ஊடகத்திற்குமான பிரிதளமாகும். AO என்பது காற்றில் பரவி பிரிதளத்தின் மீது படும் ஒற்றை நிற ஒளிக் கதிர். ஊடகத்தின் விலகல் எண் μ என இருக்கட்டும். படும் அலையில் 'r' பகுதி காற்றிலேயே எதிரொளிக்கப் படுவதாகவும், 't' பகுதி ஊடகத்தில் ஊடுருவுவதாகவும் கொள்வோம். எனவே, படும் அலையின் வீச்சு 'a' எனில், 'ar' அளவு OB திசையில் எதிரொளிக்கப் படும், 'at' அளவு OC திசையில் ஊடுருவிச் செல்லும். இதனைப் படம் 16-1 (a) மூலம் காணலாம்.



(a) (b)

படம் 4.5

படம் 16-1 (b)-யில் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு ஏதேனும் அமைப்பின் மூலம் OB திசையில் உள்ள எதிரொளித்த பகுதியும், OC திசையில் விலகலடைந்த பகுதியும் மீண்டும் O-வை அடையுமாறு செய்யப்படுவதாகக் கொள்வோம். எனவே, 'ar' அளவு ஊடகத்தின் மேல் O-வில் படுகின்றது. இதில் r பகுதி எதிரொளிக்கப்படும். எனவே, BO-வினால் OA திசையில் 'ar^2' அளவு இருக்கும். CO திசையில் ஊடகத்திலிருந்து புள்ளி O-வில் at அளவு படுகின்றது. ஊடகத்திலிருந்து படுவதால் எதிரொளிக்கப்

படும் பகுதியை 'r_1' எனவும், ஒளிவிலகல் அடையும் பகுதியை 't_1' எனவும் கொள்வோம். எனவே, O-வின் ஊடகத்தினின்று காற்றிற்கு விலகலடையும் பகுதி 'att_1' ஆகும். ஊடகத்தினுள்ளேயே OD-திசையில் எதிரொளிக்கப்படும் பகுதி 'atr_1' ஆகும்.

ஆக, OA திசையில் மொத்த வீச்சின் மதிப்பு ar^2+att_1 ஆகும். ஒளியின் நேர் எதிர்பண்பு (Reversibility of light) மூலம் இம்மதிப்பானது படும் அலையின் வீச்சு 'a'-க்கு சமமாக இருத்தல் வேண்டும். எனவே,

$$ar^2 + att_1 = a \qquad \text{———(1)}$$

ஊடகத்தினுள் OD திசையில் அமையும் பகுதி

$$art + atr_1 = 0 \qquad \text{———(2)}$$

ஆகும்.

சமன்பாடு (1)-லிருந்து

$$r^2 + tt_1 = 1$$

அல்லது $$tt_1 = 1 - r^2 \qquad \text{———(3)}$$

என எழுதலாம்.

சமன்பாடு (2)-லிருந்து

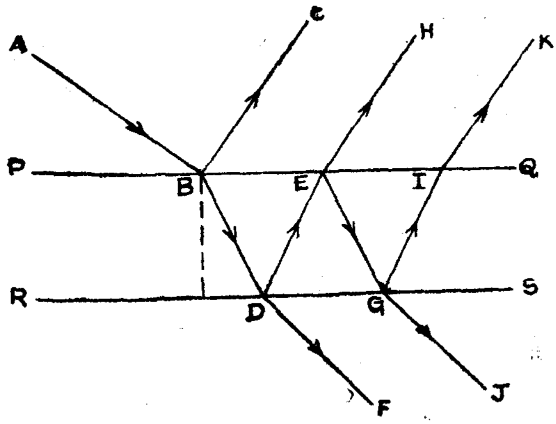
$$r_1 = -r \qquad \text{———(4)}$$

ஆகும்.

எனவே, அடர்வு மிகு ஊடகத்தில் எதிரொளிப்பிற்கான குணகமும், அடர்வு குறை ஊடகத்தில் எதிரொளிப்பிற்கான குணகமும், எண்ணளவில் சமம் என்பது தெளிவு. ஆனால், அடர்வு மிகு ஊடகத்தை பின்னணியாகக் கொள்ளும் எதிரொளிப்புக் குணகம் எதிர் குறியைக் கொண்டுள்ளது. எனவே, π அளவு கட்ட வேறுபாடு ஏற்படுகின்றது. லாய்டு ஆடியில் அடர்வு மிகு ஊடகத்தை பின்னே கொண்டு ஏற்படும் எதிரொளிப்பினால் π அளவு கட்ட வேறுபாடு உண்டாகின்றது என்று கொண்டு, சுழிப் பாதை வேறுபாடு ஏற்படும் இடத்தில் இருள் வரி ஏற்படுகின்றது என்று பார்த்தோம். எனவே, அடர்வு குறை ஊடகத்தைப் பின்னே கொண்டு ஏற்படும் எதிரொளிப்பில் கட்ட வேறுபாடு ஏற்படாது என்றும் அறியலாம். மேலும் உலோக மென் தகடுகளில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பு, விலகல் ஆகியவற்றிலும் கட்ட மாற்றம் ஏற்படாது.

16.3. இணைப் பக்கங்கள் கொண்ட மென்தகட்டில் ஏற்படும் பன்முக எதிரொளிப்பு:

படம் 16.2- இல் உள்ளவாறு ஒளி புகும் ஊடகத்தாலான மென் தகடொன்று PQ,RS என்னும் இணைப்பக்கங்களைக் கொண்டதெனக் கொள்வோம். PQ பக்கத்தின் மீது B- யில்



படம் 16.2

படும் AB என்னும் ஒளிக்கதிர் பகுதி எதிரொளிப்பு, பகுதி விலகலுக்கு உள்ளாகிறது. எதிரொளித்த பகுதி BC திசையிலும், விலகலடைந்த பகுதி BD திசையிலும் செல்கின்றன. விலகல் அடைந்த பகுதி மீண்டும் பிரிதளம் RS-இல் எதிரொளிப்பிற்கும் விலகலுக்கும் உள்ளாவதனால் ஏற்படும் எதிரொளித்த பகுதி DE திசையிலும், விலகல் பகுதி DF திசையிலும் செல்கின்றன. DF காற்றில் விலகலடைந்து செல்கின்றது. DE மீண்டும் பிரிதளம் PQ-வில் பகுதி எதிரொளிப்பு, பகுதி விலகல் அடைந்து EG என்னும் எதிரொளிப்புக் கதிரையும், EH என்னும் விலகு கதிரையும் உண்டாக்குகின்றது. கதிர்கள் BC,EH போன்றவை ஒன்றுக்கொன்று இணையானவைகளாக அமைகின்றன. இதே போன்று DF ,GJ போன்றவைகளும் இணையாக அமைகின்றன.

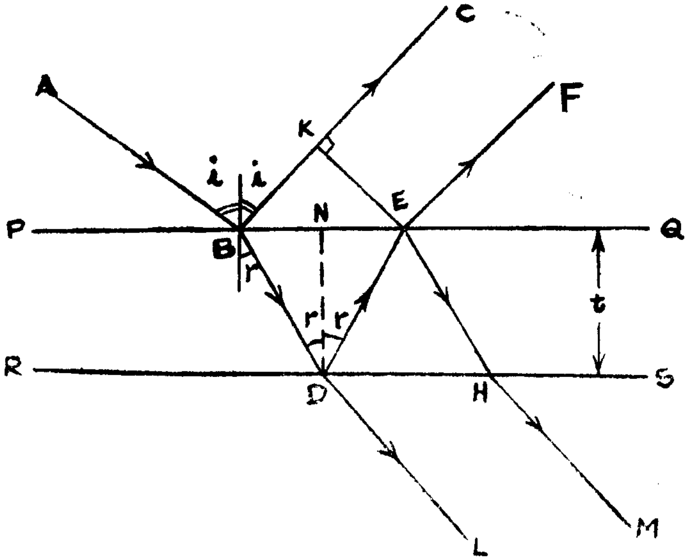
இக்கதிர்களில் BC, EH இரண்டை மட்டும் கருத, BC-ஆனது, PQ பிரிதளத்தில் எதிரொளிப்பு மூலம் கிடைக்கின்றது. கீழ் பிரிதளம் RS- இல் எதிரொளிப்பினால் EH கிடைக்கின்றது.

எனவே, இவை எதிரொளிப்பினால் கிடைக்கும் கதிர்கள் எனப் படும். இவை இரண்டும் ஒரே படுகதிர் 13-யிலிருந்து பெறப் பட்டவையாதலால் இவற்றை ஓரியல் மூலங்களிலிருந்து வந் தவை எனக்கருதலாம். இவற்றிற்கிடையே பாதை வேறுபாடும் மாறுபட்ட நிலைகளில் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகளால் பெறப் பட்டமையால் கட்டவேறுபாடு π-யும் இருக்கும் எனவே, உண்மையான பாதை வேறுபாட்டுடன் $\frac{\lambda}{2}$ அளவு அதிகம் சேர்த்துக் கொள்ளல் வேண்டும். ஆக, மொத்த பாதை வேறுபாடு $n\lambda$ அளவு இருந்தால் ஆக்கக் குறுக்கீட்டிற்கான நிபந்தனை சரி செய்யப்படும். எனவே மென் படலத்தின் மீது அப்புள்ளி பொலிவுடன் இருக்கும். மாறாக மொத்த பாதை வேறுபாடு $(2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ - ஆக இருப்பின் இருளாக அமையும்.

சோப்புக் குமிழ், நீர்ப்பரப்பின் மீது அமையும் மெல்லிய எண் ணெய்ப் படலம் முதலியவற்றில் பல நிறங்கள் தோன்றுதலை இதே போன்ற பன்முக எதிரொளிப்பின் மூலம் விளக்கலாம்.

16.4 (a) மென் படலங்களில் நிறங்கள் தோன்றுதல்:

அகண்ட ஒளி மூலமொன்றிலிருந்து வரும் கற்றைகள்



படம் 16 3

மென் படலமொன்றின் மீது படுதலினால் பன்முக எதிரொளிப்புக் கதிர்களும், ஊடுருவிச் செல்லும் கதிர்களும் உண்டாகின்றன.

படலத்தின் பல பாகங்களினின்று செல்லும் கதிர்களை ஒருங்கே காணும் ஒருவருக்கு குறுக்கீட்டு விளைவின் காரணமாக பலவித நிறங்கள் தோன்றுகின்றன. படலத்தின் மீது குறிப்பிட்ட பகுதியினின்று வரும் குறிப்பிட்ட நிறங்கொண்ட கதிர்கள், ஆக்கக் குறுக்கீட்டை ஏற்படுத்துவதினால், அந்த நிறம் படலத்தின் மீது தோன்றும். எனவே, நிறத்தோற்றம் ஒளிச்சிதறலினால் ஏற்படுவது அல்ல. மேலும் இரண்டு ஓரியல் மூலங்களைக் கொண்டு குறுக்கீட்டு விளைவை ஏற்படுத்தும் முறையினின்றும் வேறுபட்டது ஆகும்.

படம் 16.3-இல் உள்ளது போன்று சீரான தடிமம் t கொண்ட மென் படலத்தைக் கருதுவோம். படலத்தின் ஒளி விலகல் எண் μ ஆக இருக்கட்டும். நீண்டதொரு ஒளிமூலத்திலிருந்து அதன் மீது படும் AB என்னும் கதிரானது B என்னும் புள்ளியில் பகுதி எதிரொளிப்பு மூலம் BC திசையிலும், பகுதி விலகல் மூலம் BD திசையிலும், பிரிந்து செல்கின்றது. படுகோணம் 'i' ஆகவும், விலகு கோணம் 'r' ஆகவும் இருக்கட்டும். விலகு கதிர் BD ஆனது, D-யில் எதிரொளிப்பு, விலகல் இரண்டின் மூலம் பிரிகின்றது. எதிரொளித்த பகுதி BD திசையிலும், விலகு கதிர் DL திசையிலும் செல்கின்றன. கதிர் DE மீண்டும் E-யில் விலகல், எதிரொளிப்பு இரண்டையும் அடைவதினால் விலகல் பகுதி EF திசையிலும், எதிரொளித்த பகுதி EH திசையிலும் செல்கின்றன. இவ்வாறு படலத்தின் மேல் பகுதியில் எதிரொளிப்பினால் பல இணைக்கதிர்களும், கீழ்ப்பகுதியில் ஊடுருவல் மூலம் உண்டாகும் பல இணைக்கதிர்களும் உண்டாக்கப்படுகின்றன.

எதிரொளிப்பினால் உண்டாகும் BC, $BDEF$, கதிர்களைக் கருதுவோம். இரண்டும் AB என்னும் படுகதிரினின்று பெறப்பட்டவை. எனவே குறுக்கீட்டு விளைவைத் தோற்றுவித்தலுக்கு உரியனவாகும். இவற்றை மீண்டும் இணைக்கும் புள்ளியில் அவை ஏற்படுத்தும் விளைவு அவற்றிற்கிடைப்பட்ட பாதை வேறுபாட்டைப் பொறுத்ததாகும். விலகலடைந்த கதிர் ஊடகத்தில் $(BD+DE)$ தூரம் கடக்கும்பொழுது எதிரொளித்த கதிர் BC காற்றில் பரவுகின்றது. E-யின் வழியாக BC-க்கு வரையப்படும் குத்துக்கோடு K-யில் சந்திக்கட்டும். விலகல் கதிர் $(BD+DE)$ தொலைவைக் கடக்கும் நேரத்தில், எதிரொளிப்புக் கதிர் BK தூரம் காற்றில் செல்லும். K,E இவைகளுக்கப்பால் இரு கதிர்களும் சமபாதை நீளம் கொண்டுள்ளன. எனவே,

பாதை வேறுபாடு = (BD+DE) ஊடகத்தில்—BK காற்றில் ஊடகமொன்றில் அமையும் பாதை நீளத்தை விலகல் எண்ணால் பெருக்க காற்றில் அமையும் சமபாதை கிடைக்கும்.

எனவே,

பாதை வேறுபாடு $= \mu(BD+DE)—BK$

$= 2\mu BD—BK \quad [\because BD=DE]$

$\triangle BDN$-இல்

$$\frac{DN}{BD} = \frac{t}{BD} = \cos r$$

அல்லது, $BD = DE = \dfrac{t}{\cos r}$ ———(1)

அதே முக்கோணத்தில், $\dfrac{BN}{t} = \tan r$

அல்லது $BN = NE = t \tan r$

எனவே, $BE = 2t \tan r$ ———(2)

மேலும் $\triangle BKE$-இல்,

$$\frac{BK}{BE} = \sin i$$

அல்லது, $BK = BE \sin i$ ———(3)

சமன்பாடு (2)-இலிருந்து BE-யின் மதிப்பை பதிலீடு செய்ய,

$BK = 2t \tan r \sin i$

$= 2t \dfrac{\sin r}{\cos r} \sin i$

$= 2t \dfrac{\sin r}{\cos r} \mu \sin r \qquad [\sin i = \mu \sin r]$

$= 2\mu t \dfrac{\sin^2 r}{\cos r}$ ———(4)

எனவே, பாதை வேறுபாடு $= 2\mu \; BD - BK$

$$= 2\mu \frac{t}{\cos r} - 2\mu t \frac{\sin^2 r}{\cos r}$$

$$= \frac{2\mu t}{\cos r}\left[1 - \sin^2 r\right]$$

$$= \frac{2\mu t}{\cos r}\cos^2 r$$

$$= 2\mu t \cos r \qquad \text{———(5)}$$

எனவே, இரண்டு எதிரொளித்த கதிர்களுக்கு இடைப்பட்ட பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r$ ஆகும்.

10.4(b) எதிரொளிப்பு ஒளி மூலம் பார்க்கப்படும் படலம்

பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r$ மட்டுமின்றி, B, D ஆகிய புள்ளிகளில் மாறுபட்ட நிலைகளில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பின் காரணமாக கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு ஏற்படுகின்றது. B-யில் அடர்வு மிகு ஊடகத்தின் பின்னணியில் நடைபெறும் எதிரொளிப்பினால் BC என்னும் கதிர் π அளவு கட்ட வேறுபாடு கொள்கின்றது. எனவே, உண்மையில் எதிரொளித்த இரு கதிர்களுக்கிடையே அமையும் கட்டவேறுபாடு $2\mu t \cos r \pm \frac{\lambda}{2}$ ஆகும். எனவே பொலிவுடன் அமைவதற்கான நிபந்தனை

$2\mu t \cos r \pm \frac{\lambda}{2} = n\lambda$ என்றும்,

இருளாக அமைய,

$2\mu t \cos r \pm \frac{\lambda}{2} = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2}$ என்றும் அமையும்

இதனால் கணக்கீட்டு முறையில் கிடைக்கும் $2\mu t \cos r$ பாதை வேறுபாட்டை மட்டுமே கருத.

பொலிவுடன் அமைய $2\mu t \cos r = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2}$ எனவும்,

இருளாக அமைய $2\mu t \cos r = n\lambda$ எனவும் நிபந்தனைகள் மாறும். வரிகள் ஏற்படும் ஆய்வுகளில் அடுத்தடுத்த இரண்டு கதிர்களுக்கு இந்நிபந்தனைகள் பொருந்தும்.

ஒற்றைநிற ஒளி படலத்தின்மீது பட்டு பன்முக எதிரொளிப்பினால் ஏற்படும் BC, EG கதிர்களினால் பார்க்கப்படும் பொழுது, பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2}$ என்று இருந்தால்,

படலம் பொலிவுடனும், $2\mu t \cos r = n\lambda$ என்று இருப்பின் இருளாகவும் தோன்றும். B, D இவற்றில் மாறுபட்ட நிலைகளில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பினால் உண்டாகும் π கட்ட வேறுபாடு தான் இதற்குக் காரணமாகும்.

மீமென் படலம் (Infinitesimally thin film) எனில், t-யின் மதிப்பு மிகவும் குறைவாக இருக்குமாகையால் $2\mu t \cos r = 0$ ஆகும். இந்நிலையில் எதிரொளித்த ஒற்றை நிற ஒளிமூலம் பார்க்கும்பொழுது, கதிர்களுக்கிடையே மாறுபட்ட நிலை எதிரொளிப்பு காரணமாக கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு π உண்டாக்கப்படும். எனவே அலை அழிவுக் குறுக்கீட்டில் அமையும். இதனால் படலம் கருமையாகத் தோன்றும்.

மென் படலங்களின் மீது வெள்ளொளி படும்பொழுது நிறங்கள் தோன்றுகின்றன. குறிப்பிட்ட திசையொன்றில், படலத்தின் மேலிருந்து எதிரொளிப்பினால் பரவும் வெள்ளொளியில் உள்ள ஒவ்வொரு நிறத்திற்கும் மாறுபட்ட மதிப்புகொண்ட பாதை வேறுபாடுகள் உண்டாகும். ஏனெனில் μ மதிப்பு, நிறத்திற்கு நிறம் மாறுபடுவதாகும். இதனால் $2\mu t \cos r$ மதிப்பு நிறத்தைப் பொருத்ததாகும். குறிப்பிட்ட திசையில் பரவும் எந்த நிறக் கதிருக்கு $2\mu t \cos r$-இன் மதிப்பு ஆக்கக் குறுக்கீட்டிற்கான நிபந்தனையாக அமைகின்றதோ, அந்த நிறம் படலத்தின் அந்தப் பகுதியில் தோன்றுகின்றது. மற்ற நிறங்கள் எல்லாம் அழிவுக் குறுக்கீட்டு விளைவில் சந்திப்பதால் தெரிவதில்லை. ஆக மென் படலத்தை எதிரொளித்த கதிர்கள் மூலம் பார்ப்பவர்களுக்கு, இவ்வாறான குறுக்கீட்டு விளைவுகளினாலேயே, பகுதிக்குப் பகுதி வேறுபட்ட நிறங்கள் தோன்றுகின்றன.

16.4 (c) ஊடுருவல் ஒளியால் பார்க்கப்படும் படலம்

படலத்தின் வழியாக ஊடுருவி வரும் ஒளி மூலம் படலத்தைப் பார்த்தாலும், படலம் பொலிவுடன் தோன்றும். படம் 16.3 இல் DL, HM ஊடுருவல் கதிர்கள். ஒற்றை நிற ஒளி படலத்தின் மூலம் ஊடுருவல் அடையும் பொழுது இவற்றிற்கிடையேயான பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r$ எனக்காட்டலாம். இங்கு D, E இரண்டு புள்ளிகளிலும் நடைபெறும் எதிரொளிப்புகள் ஒத்த தன்மை கொண்டவையாதலால் கட்டவேறுபாடு ஏதும் உண்டாகாது. பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r$ மட்டுமேயாகும். இந்தப்பாதை

வேறுபாடு $2\mu t \cos r = n\lambda$ எனில், படலம் பொலிவுடனும், $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$ எனில், படலம் கருமையாகவும் தோன்றும்

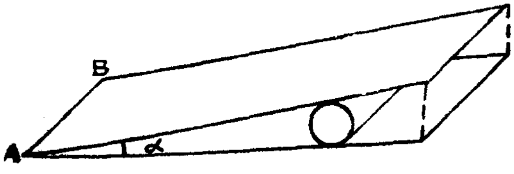
மீமென் படலம் எனில், $2\mu t \cos r = 0$ ஆகும். எனவே, பாதை வேறுபாடு சுழியம் ஆகும். கட்டவேறுபாடும் ஏற்படுவதில்லை. எனவே, ஊடுருவல் கதிர்கள் ஆக்கக் குறுக்கீட்டை உண்டாக்கும். ஆக, மீமென்படலம் பொலிவுடன் தோன்றும். இவ்வகைப் படலம் எதிரொளிப்பு ஒளிகொண்டு பார்த்தால் இருளாகத் தெரியுமென முன்பு பார்த்தோம். எனவே, எதிரொளித்த கதிர்கள், விலகலடைந்த கதிர்கள் இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று நிரப்பக் கதிர்கள் (Complementary rays) ஆகின்றன.

ஊடுருவி வரும் ஒளி, வெள்ளொளி எனில், படலமானது நிறங்கொண்டு தோன்றும். குறிப்பிட்ட பகுதியிலிருந்து வரும் கதிர்களுக்கு ஒரு நிறத்திற்கு மட்டும் $2\mu t \cos r = n\lambda$ இருக்குமானால், அந்த நிறத்துடன் அப்பகுதி தோன்றும். மற்ற எல்லா நிறக் கதிர்களும் அழிவு குறுக்கீட்டு விளைவில் இருக்குமாதலால் அவை தோன்றா. குறிப்பிட்ட நிலையிலிருந்து படலத்தை பார்க்கும் பொழுது வெவ்வேறு பகுதியில் வெவ்வேறு நிறங்கள் ஆக்கக் குறுக்கீட்டில் இருக்குமாதலால் பல நிறங்களுடன் படலம் தோன்றும்.

16.5 காற்று ஆப்பு:

இரண்டு செவ்வகக் கண்ணாடித் தகடுகளை ஒன்றின்மேல் ஒன்று அமையுமாறும், அவற்றின் ஒருபக்க முனைகள் அகலவாக்கில் நேர்க்கோட்டிலிணையுமாறும், மறுபக்க முனைகள் இடைவெளி விட்டும் அமைக்கப்பட்டால் காற்று ஆப்பு கிடைக்கும்.

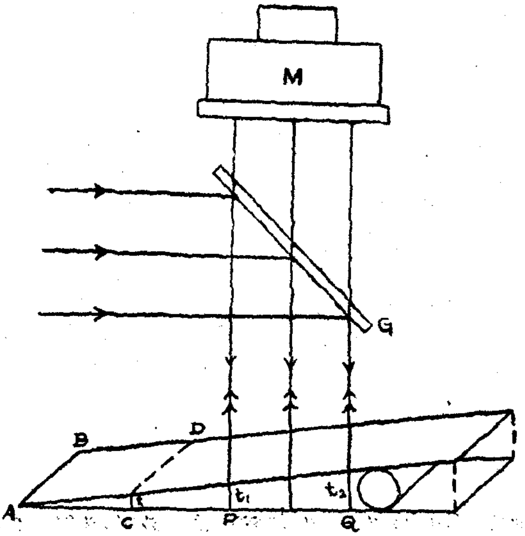
படம் 16.4-இல் உள்ளவாறு AB என்ற கோட்டின் வழியாக கண்ணாடித் தகடுகள் இணைந்துள்ளன. மறுமுனையில் ஒரு மெல்லிய உருளைக் கம்பிஅல்லது மெல்லிய தாள் வைத்து இடைவெளி ஏற்படுத்த அந்த கண்ணாடித் தகடுகளுக்கிடையே மெல்லிய ஆப்பு வடிவ காற்றுப் படலம் உண்



படம் 16.4

டாகும். AB-யில் படலமானது சுழிய தடிமம் கொண்டிருக்கும். AB-யிலிருந்து மறுமுனை நோக்கிப் பார்த்தால், படலம் சீரான தடிமம் கொண்டதாக அமையாமல் மறுமுனை வரை தடிமம் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும். இரண்டு தகடுகளுக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் 'α' மிகவும் குறைந்த மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும். இது காற்று ஆப்பின் கோணமாகும்.

படம் 16.5-இல் உள்ளவாறு நீண்ட ஒளிமூலம் ஒன்றிலிருந்து வரும் ஒற்றை நிற ஒளியை G என்னும் கண்ணாடித் தகட்டின்மீது



படம் 16.5

பட்டு எதிரொளிக்கச் செய்து, படலத்தின் மீது குத்தாக விழும்படி செய்யலாம். இப்பொழுது படலத்தை எதிரொளித்த ஒளியால் நுண்ணோக்கி M மூலம் பார்த்தால், படலம் வேறுபட்ட தடிமம் கொண்டுள்ள காரணத்தினால் முழுவதும் பொலிவுடனோ அல்லது முழுவதும் கருமையாகவோ தோன்றாது. மாறாக, ஒன்றுக்கொன்று இணையான நேர்க்கோட்டு பொலிவு வரிகளும், இருள் வரிகளும் அடுத்தடுத்து தோன்றும். இவற்றைப் பின் வருமாறு விளக்கலாம் :

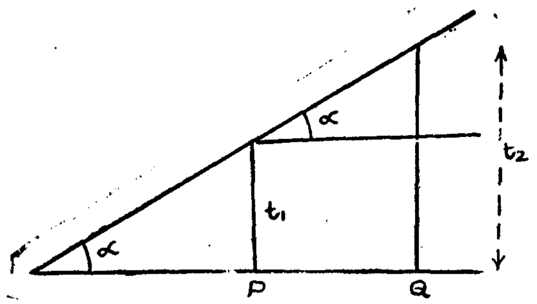
எதிரொளிப்புக் கதிர்களால் பார்க்கப்படும் படலம் சுழியப் பாதை வேறுபாடு ஏற்படுத்தினால், முழுவதும் கருமையாகத் தோன்றும். எனவே, AB இருளாக அமையும். படம் 16.5- இல்

A-ஐ அடுத்துள்ள புள்ளி C-யில் காற்றுப் படலத்தின் தடிமம் 't' என இருக்கட்டும். படலத்தின் கீழ் பக்கத்திலும், மேல் பக்கத்திலும் எதிரொளிக்கும் கதிர்கள் மீண்டும் அதே திசையில் சென்று நுண்ணோக்கியை அடைகின்றன. இரண்டு எதிரொளிப்புகளும் ஒப்புமை அற்றவையாகையால் கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு π உண்டாகின்றது. எனவே, C-யில் பாதை வேறுபாடு $2\mu t \cos r = \frac{\lambda}{2}$ அளவு இருக்குமாறு படலத்தின் தடிமம் இருந்தால், C பொலிவாக அமையும். இதே போன்று CD என்ற கோட்டின் மீது அமையும் எல்லா புள்ளிகளும் பொலிவுடன் அமையுமாதலால் CD பொலிவு வரியாக அமையும். எனவே அடுத்தடுத்த இருள் வரிகளும் பொலிவு வரிகளும் தோன்றும்.

காற்றுப் படலமாகையால் $\mu = 1$ எனவும், குத்துப்படுகையாகையால் $r = O$ ஆகவும் அமையும். எனவே, படலத்தடிமத்தினல் மட்டும் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $2t = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \ldots\ldots$ என்று அமையும் புள்ளிகளில் பொலிவு வரிகளும், $2t = o, \lambda, 2\lambda, 3\lambda \ldots\ldots$ என்று அமையும் இடங்களில் இருள் வரிகளும் தோன்றும். இதன்படி A-யிலிருந்து 'x_n' தூரத்தில் உள்ள P-யில் n-ஆவது இருள்வரியும் Q-வில் $(n+1)$-ஆவது இருள்வரியும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். P-யில் படலத்தின் தடிமம் 't_1' எனவும் Q-வில் தடிமம் 't_2' எனவும் கொள்வோம்.

எனவே, $2t_1 = n\lambda$; $2t_2 = (n+1)\lambda$ ஆகும்.

$$\therefore\ t_2 - t_1 = \frac{\lambda}{2} \qquad \text{——— 1.}$$



படம் 16.6

படம்16.6-இன்படி,

$$PQ = \frac{t_2 - t_1}{\tan \alpha}$$

α - மிகக் குறைந்த மதிப்பை கொண்டதாகையால்,

$$PQ = \frac{t_2 - t_1}{\alpha} \qquad \text{——— 2.}$$

$$\therefore \; PQ = \frac{\lambda}{2\alpha} \qquad \left[\because t_2 - t_1 = \frac{\lambda}{2}\right]$$

இங்கு, PQ வரி அகலம் β ஆகும்.

$$\text{எனவே, } \beta = \frac{\lambda}{2\alpha} \qquad \text{——— 3.}$$

சமன்பாடு 3 - இலிருந்து வரி அகலம், வரிசை எண் 'n'-ஐப் பொறுத்து அமையவில்லையென்பது தெளிவு. எனவே, எல்லா வரிசைகளும் சம அகலம் கொண்டவையாகும்.

எனவே, வரி அகலத்தை ஆய்வின் மூலம் தீர்மானித்து, கோணம் α தெரிந்தால் λ-வை கணக்கிடலாம். ஆனால் α மிகவும் குறைந்த மதிப்பை கொண்டதாகையால், அலை நீளம் λ தெரிந்த ஒளியினைக் கொண்டு α-வைத் தீர்மானிக்கலாம். மாறாக, α-வை வேறு முறையில் தீர்மானித்து, λ-வை தீர்மானித்தலும் இயலும். இதற்கு A-யிலிருந்து இடைவெளியை உண்டாக்கும் மென் உருளைக்கம்பி அமைந்துள்ள தூரத்தை L எனக் கொள்வோம். கம்பியின் விட்டம் d என இருக்கட்டும்.

எனவே,

$$\alpha = \frac{d}{L} \qquad \text{——— 4.}$$

$$\text{சமன்பாடு 3- ஐ, } \alpha = \frac{\lambda}{2\beta} \qquad \text{——— 5.}$$

என்றும் எழுதலாம்.

சமன்பாடுகள் 4, 5 இவையிரண்டிலிருந்தும்,

$$\frac{\lambda}{2\beta} = \frac{d}{L}$$

$$\lambda = \frac{d}{L} \, 2\beta \qquad \text{——— 6.}$$

அல்லது λ தெரிந்திருந்தால்,

உருளையின் விட்டம், $$d = \frac{\lambda L}{2\beta} \qquad \text{——— 7.}$$

சமன்பாடுகள் 5, 6, 7 மூன்றும் காற்று ஆப்பைப் பொறுத்த வரை முக்கியமான சமன்பாடுகளாகும்.

16.6 தளப்பரப்புகளின் ஒளியியல் தளத்தன்மையை ஆய்தல்

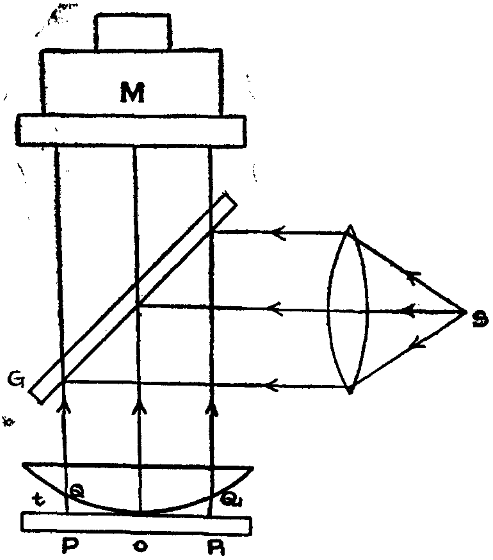
பரப்பொன்றானது ஒளியியல் வகைதளம் (Optically plane) போன்று அமைந்துள்ளதா என்பதனை காற்று ஆப்பு மூலம் சரிபார்க்கலாம். காற்று ஆப்பு அமைப்பதில் ஒரு கண்ணாடித் தகட்டை ஒளியியல் தளத்துடன் கூடியதாகக் கொண்டு, ஆய்வுக் குரியதை மற்றதாகக் கொள்ளவேண்டும். இரண்டையும் கொண்டு குறுக்கீட்டு வரிகளை ஏற்படுத்த, வரிகள் இணைநேர்க் கோடுகளாக அமைந்தால் ஆய்வுக்குரிய பரப்பு ஒளியியல் வகை தளத்தன்மை கொண்டதாகும். வரிகள் நேர்க்கோட்டு வரிகள் இல்லாத நிலையில், நேர்க்கோட்டு வரிகளைக் கொடுக்கும் வரை தகட்டினை தேய்த்து மெருகிட்டு தளமாக்குதல் வேண்டும். எனவே, ஒளியியல் தளப் பரப்புகளை அமைப்பதற்கும், ஆய்வதற்கும் காற்று ஆப்பு முறை பயன்படுகின்றது.

16.7 (a) நியூட்டன் வளையங்கள்

கண்ணாடித் தகடொன்றின் மீது மட்டக் குவிவில்லையை வைப்பதின் மூலம், தடிமமானது தொடர்ந்து அதிகரிக்கும் காற்றுப் படலத்தை உண்டாக்கலாம். மேலும் கண்ணாடித் தகடும் வில்லையும் தொடும் புள்ளியை மையமாகக் கொண்டு அமையும் ஒருமைய வட்டங்களின் பரிதிகள் மேல் உள்ள புள்ளி களில், காற்றுப்படலம் சமதடிமம் கொள்ளும். இதனால் படம் 16.7 - ல் உள்ளவாறு ஒற்றை நிற ஒளியால் படலத்தை ஒளி யூட்டி எதிரொளிப்பினால் உண்டாகும் கதிர்கள்மூலம் படலத் தைப் பார்த்தால், ஒருமைய பொலிவு வட்டங்களும், இருள் வட்டங்களும் அடுத்தடுத்து அமைந்து, படம் 16.-8ல் உள்ளது போன்று தோன்றும். மையத்திலிருந்து வெளிப்புறம் அமையும் வளையங்கள் நெருங்கித் தோன்றும். இந்த வளையங்கள் ஆக்கக் குறுக்கீட்டினாலும், அழிவுக் குறுக்கீட்டினாலும் ஏற்பட்டவை யாகும். இந்த வளையங்களை நியூட்டன் முதலில் கண்டமையால் நியூட்டன் வளையங்கள் எனப்படும். படலத்தின் வழியே ஊடுரு வும் ஒளி கொண்டும் இவ்வகை வளையங்களை உண்டாக்கலாம்.

16.7 (b) எதிரொளிப்பு ஒளி மூலம் நியூட்டன் வளையங்கள்

ஒற்றை நிற ஒளி மூலம் S-லிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் 45° கோணத்தில் அமைக்கப்பட்டுள்ள கண்ணாடித் தகடால் எதிரொளிக்கப் பட்டு வில்லையின் வழியாக காற்றுப்



படம் 16.7

படலத்தின் மேல் படுகின்றன. இவை படலத்தின் மேல் பகுதியிலும் கீழ்பகுதியிலுமாக எதிரொளிக்கப்பட்டு, படும் திசையிலேயே இரண்டு கதிர்களாகச் சென்று நுண்ணோக்கியை அடைகின்றன. அவை சந்திக்கும் இடத்தில் குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுகின்றது. உதாரணமாக காற்றுப் படலத்தின் மீது Q-வில் படும் கதிரைக் கருதுவோம். Q-வில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பு கண்ணாடி-காற்று இவை சந்திக்குமிடத்தில் அமைகின்றது. அதே கதிர் படலத்தின் வழியாக ஊடுருவி P-யில் பட்டு, காற்று-கண்ணாடி சந்திக்குமிடத்தில் எதிரொளிக்கப் படுகின்றது. ஆக, படும் கதிரொன்றுக்கு இரண்டு எதிரொளிப்புக் கதிர்கள் கிடைக்கின்றன. இவை மாறுபட்ட எதிரொளிப்புக்குள்ளாகின்றமையால் இவற்றிற்கிடையே π அளவு கட்ட வேறுபாடு உண்டாக்கப்படுகின்றது. படலத்தின் தடிமம் $QP = t$ என்றும், படலத்தின் விலகல் எண் μ எனவும் இருந்தால் $2\mu t \cos r$ அளவு பாதை வேறுபாடு ஏற்படுத்தப் படுகின்றது. குத்துப்படுகைக்கு $r = 0$ ஆகையால்,

படலத்தினுள் மட்டும் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $2\mu t$ ஆகும். மாறுபட்ட நிலைகளில் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகளால் உண்டாகும் கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு π-யு -ன் கிடைக்கும் மொத்த பாதை வேறுபாடு,

$$2\mu t + \frac{\lambda}{2} \qquad \text{———} \qquad \text{————} \; 2.$$

ஆகும்.

புள்ளி P ஆனது பொலிவுடன் அமைய,

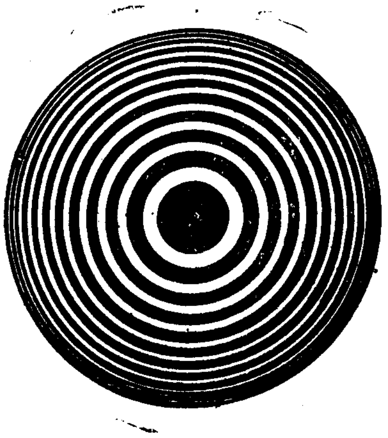
$$2\mu t + \frac{\lambda}{2} = n\lambda$$

அல்லது, $2\mu t = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருக்கவேண்டும்.

P இருளாக அமைய,

$$2\mu t + \frac{\lambda}{2} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

அல்லது, $2\mu t = n\lambda$ ஆக இருக்க வேண்டும். படலத்தின் தடிமம் 't' அளவு இருக்கும் புள்ளிகள் வில்லையும் கண்ணாடித் தகடும் சந்திக்கும் இடத்திலிருந்து சமதொலைவில் ஒரு வட்டத்தின் பரிதியின்மேல் அமைகின்றன. இவ்வகையான எல்லா புள்ளிகளும் பொலிவாகவோ அல்லது இருளாகவோ தோன்றுவதால் அவை அமைந்துள்ள வட்டம் பொலிவாகவோ, இருளாகவோ தோன்றுகின்றது.



படலத்தின் தடிமம் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்வதினால் அடுத்தடுத்து அமையும் படலங்களின் தடிமங்கள் பொலிவுக்கும் இருளுக்குமான நிபந்தனைகளைச் சரி செய்கின்றன. எனவே பொலிவு வட்டங்களும் இருள் வட்டங்களும் அடுத்தடுத்து அமைந்து படம் 16.8-ல் காட்டியுள்ளவாறு தோன்றுகின்றன.

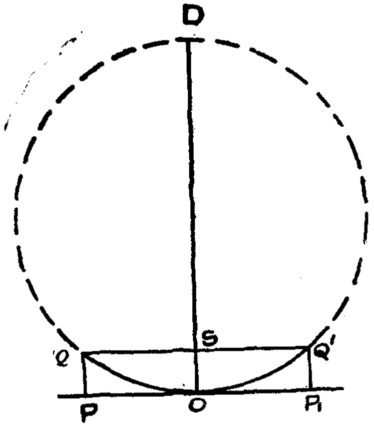
படம் 16.8

16.7 (c) வளையங்களுக்கான ஆரக் குறிக்கோவை

படம் 16.9- ல் உள்ளது போன்று வில்லையும் கண்ணாடித் தகடும் தொடும் புள்ளி O-வினின்று OP தொலைவில் அமைந்துள்ள $PQ = t$ தடிமம் கொண்ட காற்றுப் படலத்தைக் கருதுவோம். மேலும், $OP = OP_1 = r_n$ எனக் கொள்வோம். புள்ளிகள் P, P_1 இவற்றின் வழியாக n-ஆவது இருள் வட்டம் செல்லட்டும், மட்டக் குவி வில்லையானது R அளவு ஆரம் கொண்ட திடக்கோளத்தின் பகுதியாக இருக்கட்டும். கோளத்திற்கு QQ' என்பது நாண்; OD விட்டம். எனவே OD-யானது QQ'-ஐ இரண்டு சம துண்டுகள் QS, SQ' ஆக வெட்டும். எனவே வடிவியலின்படி,

$$QS \times SQ' = OS \times SD \quad \text{——1.}$$

ஆகும்.



படம் 16. 9

படம் 16.9-ல் உள்ளவாறு

$$PQ = P_1Q' = OS = t$$

மேலும், $OP = QS = SQ'$

எனவே, $r_n^2 = QS \times SQ'$

$$= t\,(2R - t)$$

$$= 2Rt \text{ (தோராயமாக)} \quad \text{——— 2.}$$

n-ஆவது இருள்வரி P-யின் வழியாகச் செல்வதினால் P-யில் உள்ள படலத்தினால் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு, $2\mu t = n\lambda$ ஆகும்.

இதனால்,
$$t = \frac{n\lambda}{2\mu} \quad \text{——— 3.}$$

$$r_n^2 = 2Rt$$

$$= 2R \times \frac{n\lambda}{2\mu}$$

$$= \frac{nR\lambda}{\mu}$$

அல்லது,
$$r_n = \sqrt{\frac{nR\lambda}{\mu}}. \quad \text{——— 4.}$$

எனவே, இருள் வளையங்களின் ஆரங்கள் முழு எண்களின் வர்க்க மூலத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் அமைகின்றன.

P-யின் வழியாக *n*-ஆவது பொலிவு வளையம் செல்கின்றது எனில்,

$$r_n^2 = \frac{2R\ (2n+1)\frac{\lambda}{2}}{2\mu}$$

$$= \frac{R\ (2n+1)\lambda}{2\mu}$$

அல்லது, $r_n = \sqrt{\frac{R\lambda\ (2n+1)}{2\mu}}$ ஆகும். ——5.

அதாவது, பொலிவு வளையங்களின் ஆரங்கள் ஒற்றைப்படை முழுஎண்களின் வர்க்கமூலத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கின்றன.

சமன்பாடு 4-ஐக்கொண்டு, ஏற்படும் வளையங்களின் இடைவெளிகளைப்பற்றி ஆராய இயலும். முதல் வளையத்திற்கும் இரண்டாவது வளையத்திற்குமான இடைவெளி ($\sqrt{2} - \sqrt{1}$) ஆகும். இரண்டாவது வளையத்திற்கும் மூன்றாவது வளையத்திற்குமான இடைவெளி ($\sqrt{3} - \sqrt{2}$) ஆகும். இதே போன்று மற்ற வளையங்களுக்கிடைப்பட்ட இடைவெளிகளையும் பார்க்கும்போது, வளையங்களின் வரிசை எண் அதிகரிக்க இடைவெளி குறைந்து கொண்டே செல்கின்றது. இதனால் வளையங்கள் நெருங்கி அமைகின்றன.

மேலும் கொள்கைப்படி, சந்திக்கும் புள்ளி *O* கருமையாகத்தான் தோன்ற வேண்டும் என்றாலும், ஆய்வின் மூலம் பார்க்கும் பொழுது மையம் பொலிவுடன் இருக்கின்றது. தொடு புள்ளியின் அருகே ஏற்படும் சில வளையங்களின் ஆரங்கள் மிகக் குறைந்த மதிப்பை கொண்டவையாகையால் அவை மேற்பொருந்தும் காரணத்தினால் இருளுக்குப் பதில் பெரிய பொலிவு வட்டம் மையத்தில் ஏற்படுகின்றது. இதனையடுத்து ஏற்படும் வளையங்கள் பொலிவுடன் தோன்றுகின்றன. வளையங்களின் உண்மையான எண்ணிக்கையை நிர்ணயிக்க இயலாது. இதனால் வரிசை எண் *n* - ஐப் பயன்படுத்தும் சமனிலிருந்து நீக்கி விடல் வேண்டும். இதற்கு ஏதாவதொரு இருள் வளையத்தின் ஆரத்தை r_n எனவும், அதனினின்று மூன்று வளையங்கள் தள்ளி அமையும் இருள் வளையத்தின் ஆரத்தினை r_{n+3} எனவும் கொண்டால்,

$$r^2_{n+3} - r^2_n = \frac{(n+3)R\lambda}{\mu} - \frac{nR\lambda}{\mu}$$

$$= \frac{3R\lambda}{\mu}$$

ஆகும். இதில் 'n' நீக்கப்படுகின்றது.

பொலிவுவளையங்களுக்கும் இந்தச் சமன்பாடு பொருந்தும்.

16.7 (d) நியூட்டன் வளையங்கள் மூலம் அலை நீளம் 'λ' காணல்

படம் 16.7 - ல் உள்ள அமைப்பின் மூலம் பயன்படும் ஒற்றை நிற ஒளியின் அலைநீளம் λ-வைக் காண இயலும். இதற்கு வில்லையின் வளைவுஆரம் R தெரிந்திருக்க வேண்டும். (மாறாக, λ தெரிந்தால் R—ஐக் கணக்கிடலாம்). வளையமொன்றின் ஆர மதிப்பு $r_n = \sqrt{\frac{nR\lambda}{\mu}}$ எனில்,

$$r_n^2 = \frac{nR\lambda}{\mu} \qquad \text{—— —— 1.}$$

வளையத்தின் விட்டம் d_n எனில், $2r_n = d_n$. ஆகவே,

$$d_n^2 = 4r_n^2$$

$$= 4 \frac{nR\lambda}{\mu} \qquad \text{—— —— 2.}$$

இதேபோன்று,

$(n+s)$-ஆவது வளையத்தின் விட்டம் (d_{n+s})-இன் இருமடியை,

$$d^2_{n+s} = \frac{4(n+s)R\lambda}{\mu}$$ என எழுதலாம்.

எனவே,

$$d^2_{n+s} - d_n^2 = \frac{4(n+s)R\lambda}{\mu} - \frac{4nR\lambda}{\mu}$$

$$= \frac{4sR\lambda}{\mu} \qquad \text{—— ——3}$$

ஆகும்.

இச்சமன்பாட்டில் வரிசை எண் n இடம்பெறவில்லை. மாறாக, ஏதாவது குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கை 's' அளவு வேறுபடும் வளையங்களின் விட்டங்களின் இருமடிகளுக்கு இடைப்பட்ட வேறுபாடு கிடைக்கின்றது. s-இன் மதிப்பு மாறாததொன்று எனில், $(d^2_{n+s} - d_n^2)$ — இன் மதிப்பும் மாறாததொன்றாகும். ஆக, ஆய்வின்

மூலம் இம் மதிப்பினைக் காண இயலும். கீழ்க்காணும் அட்டவணையில் அளவீடுகளைப் பதிவீடு செய்து ($d^2_{n+s} - d_n^2$)-இன் மாறிலி மதிப்பைக் காணலாம். இதற்கு தெளிவான வளையங்கள் தோன்றிய பின்னர் பார்வை புலத்தில் மையம் தோன்றுமாறு சரிசெய்து கொள்ள வேண்டும். நுண்ணோக்கியின் குத்துக் குறுக்குக் கம்பியானது முதல் தெளிவு வளையத்திற்கு வலது அல்லது இடது பக்கம் தொடுகோடாக அமையுமாறு செய்து, வளையங்களை எண்ணிக்கொண்டே, குறிப்பிட்டதொரு எண்ணிக்கை வரும்வரை நுண்ணோக்கியை ஒரு பக்கமாக நகர்த்த வேண்டும் எடுத்துக்காட்டாக, முதல் தெளிவு வளையத்தை n எனக்கொண்டால், அதனின்று வலது பக்கமாக 15 வளையங்களை எண்ணி அவ்வளையத்திற்கு தொடுகோடாக குத்துக்குறுக்குக்கம்பியை வைத்தல் வேண்டும். இப்பொழுது, நுண்ணோக்கியின் இடை-அளவு கோலில் அளவீடு எடுத்து $(n+15)$ வளையத்திற்கான வலது பக்க அளவீடாக குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். பின்னர், நுண்ணோக்கியை இடது பக்கமாக நகர்த்தி $(n+12)$ — ஆவது வளையத்திற்கு தொடுகோடாக வைத்து அளவீட்டை எடுத்தல் வேண்டும். இதே போன்று மூன்று வளையங்களுக்கு ஒரு முறை அளவீட்டை எடுத்து குறித்தல் வேண்டும். மையம் வந்தவுடன், மறுபக்கத்தில் n, $n+3$, $n+6$......... முதலிய வளையங்களுக்கான அளவீடுகளை

வளையங்களின் வரிசை	நுண்ணோக்கியின் அளவீடுகள்		வேறுபாடு d	d^2	$d^2_{n+s} - d_n^2$
	வலது	இடது			

எடுத்துக் குறித்துக் கொள்ளல் வேண்டும். அட்டவணையில் கண்டபடி ஒவ்வொரு வளையத்திற்குமான விட்டத்தினைக்கண்டு அதன்

இருமடியைக் காணவேண்டும். இப்பொழுது $(d^2_{n+15}-d^2_{n+9})$, $(d^2_{n+12}-d^2_{n+6})$......... போன்ற மதிப்புக்களைக் கண்டு கடைசி கட்டத்தில் குறித்தல் வேண்டும். இங்கு $s=6$ ஆகும். கடைசிக்கட்டத்தில் உள்ள மதிப்புகள் மாறிலிகாளாக இருக்கும். சற்று மாறியிருந்தாலும் சாரசரி மதிப்பினைக்கண்டு, அம்மதிப்பினை சமன்பாடு 4 - ல் கொண்டு, λ-வை கணக்கிடலாம். படலம் காற்றுல் ஆனது எனில், $\mu=1$ ஆகும். எனவே, வில்லையின் வளைவு ஆரம் R தெரிந்தால், அலைநீளம் λவை

$$\lambda = \frac{(d_{n+s}^2 - d_n^2)}{4sR}$$ என்னும்

சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடலாம்.

அல்லது, ஒற்றைநிற ஒளியின் அலைநீளம் λ தெரிந்தால்

$$R = \frac{d^2_{n+s} - d_n^2}{4s\lambda}$$ என்னும்

சமன்பாட்டின் மூலம் R-ஐ கணக்கிடலாம்.

16.7 (e) திரவமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண் காணல்

மிகக்குறைந்த அளவு கிடைக்கும் திரவங்களின் விலகல் எண்களை நியூட்டன் வளையங்கள் மூலம் தீர்மானிக்க இயலும். கொடுக்கப்பட்டுள்ள குவிவில்லையையும் கண்ணாடித்தகட்டினையும் கொண்டு, அவற்றிற்கிடையே காற்றுப்படலத்தை உண்டாக்கி வளையங்களை உருவாக்கலாம். முன் பகுதியில் உள்ளபடி அட்டவணையிட்டு $(d^2_{n+s}-d_n^2)$ என்னும் மாறிலியைக் கணக்கிடலாம். பின்னர், தகட்டின் மீது ஒரு துளி திரவத்தினை எடுத்துக் கொண்டு, அதன் மீது வில்லையின் அதே ஆரப்பக்கம் இருக்குமாறு அமைக்க திரவப்படலம் உண்டாகும். இப்பொழுது, திரவப்படலத்தினுல் நியூட்டன் வளையங்கள் உண்டாக்கப்படும். இவ்வளையங்களுக்கும் s-இன் மதிப்பை மாற்றுமல் $(d^2_{n+s}-d_n^2)$-இன் மதிப்பைக் காணலாம். காற்றுப்படலத்திற்கு $\mu=1$ எனில், முன் பகுதி சமன்பாடு 4-இன்படி.

$$(d^2_{n+s} - d_n^2) = 4sR\lambda \qquad \text{—} \qquad \text{—1.}$$

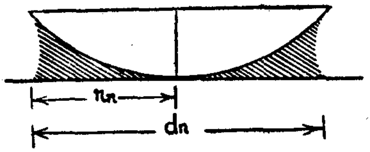
ஆகும். இதேபோன்று திரவத்திற்கு,

$$d'^2_{n+s} - d_n'^2 = \frac{4sR\lambda}{\mu l} \qquad \text{—} \qquad \text{—2.}$$

ஆகும்.

சமன்பாடு 1-ஐ 2-ஆல் வகுக்க

$$\mu l = \frac{d'_{n+s} - d_n^2}{d'^2_{n+s} - {}'^{\,\prime}_{1}}$$

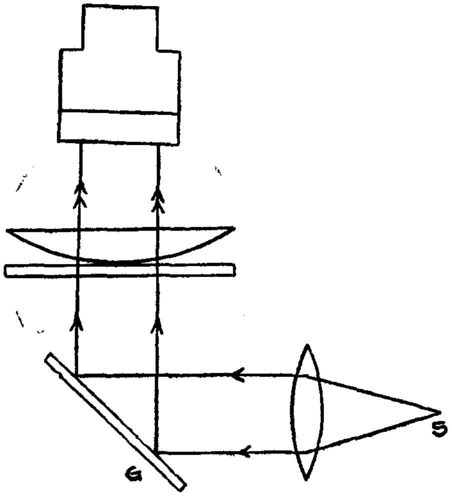


படம் 16·10

எனக்கிடைக்கும். எனவே, திரவத்தின் விலக்கல் எண் μl—ஐக் கணக்கிடலாம்.

16.8 ஊடுருவல் ஒளி மூலம் நியூட்டன் வளையங்கள்

கண்ணாடித்தகட்டிற்கும், வில்லைக்குமிடையே ஏற்படும் படலத்தினை ஊடுருவல் ஒளி மூலம் பார்த்தாலும் நியூட்டன் வளையங்கள் தோன்றும். இதற்கான அமைப்பு படம் 16·11 - ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. கண்ணாடித்தகடும் வில்லையும் தொடும் புள்ளியில்



படம் 16.11

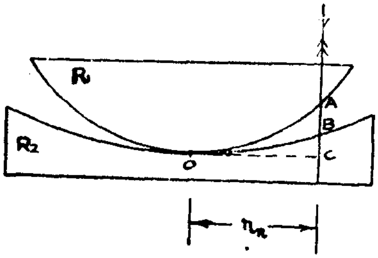
பாதை வேறுபாடு சுழியமாகும். எனவே, படலம் பொலிவுடன் தோன்றுதல் வேண்டும். அடுத்து அமையும் புள்ளி Pனில்,

அங்கு உண்டாகும் பாதை வேறுபாடு $2\mu t = \frac{\lambda}{2}$ எனில், P இருளாக தோன்றும். அடுத்தடுத்து அமையும் புள்ளிகளில் $2\mu t = \lambda, \frac{3\lambda}{2} \ldots\ldots$ என்று மதிப்புகள் மாறிக்கொண்டே சென்றால், பொலிவு, இருள் என்று மாறும் புள்ளிகள் தோன்றும். ஊடுருவல் ஒளியால் கூடுதல் கூட வேறுபாடு ஏற்படாதாகையால் பொலிவுக்கான நிபந்தனையும், இருளுக்கான நிபந்தனையும் முறையே ஊடுருவல் ஒளி கொண்டு பார்க்கப்படும் படலத்திற்கான நிபந்தனைகளேயாகும். (பகுதி 16. 4 (c)-ஐ பார்க்கவும்) இதனால், பாதை வேறுபாடு $= n\lambda$ பொலிவுப்புள்ளி; பாதை வேறுபாடு $= (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ இருள்புள்ளி என நிபந்தனைகள் கிடைக்கும். இவ்வாறு ஏற்படும் ஒருமித்த புள்ளிகள் அனைத்தும் வட்டத்தின் பரிதிமேல் அமைவதால் பொலிவு, இருள் வட்டங்கள் மாறிமாறி அமைந்து நியூட்டன் வளையங்கள் உண்டாகும். இங்கும் தோன்றும் வளையங்களின் ஆர மதிப்புகள் எடுத்துக் காட்டாக,

$$r^2_{n+3} - r_n^2 = \frac{3R\lambda}{\mu}$$ என்னும் சமன்பாட்டினை சரி செய்யுமாறு அமைதலைக் காணலாம். இதே சமன்பாட்டினை பகுதி 16. 7 (C) -இல் வருவித்துள்ளமையைக் காண்க.

16.9 இரண்டு வளைபரப்புகளிடையே அமையும் படலத்தினால் ஏற்படும் நியூட்டன் வளையங்கள்

R_1, R_2 என்னும் வேறுபட்ட வளைவு ஆரங்களைக் கொண்ட இரண்டு வளைபரப்புகளை காற்றுப் படலம் அமையுமாறு வைத்து, அப்படலத்தினை எதிரொளித்த அல்லது ஊடுருவல் ஒளி மூலம் பார்க்க, நியூட்டன் வளையங்கள் தோன்றும். படம் 16.12-இல் உள்ளவாறு R_1 குவிபரப்புக்கான வளைவு ஆரமாகவும், R_2 குழி பரப்புக்கான வளைவு ஆரமாகவும் அமையலாம். இந்த மாதிரி



படம் 16.12

அமையும் பொழுது C-யின் வழியாக n-ஆவது இருள் வளையம் சென்றால், $r_n^2 = 2R_1 \times AC$;

அல்லது $AC = \frac{r_n^2}{2R_1}$ ——— 1.

என எழுதலாலம். அதேபோன்று,

$$BC = \frac{r_n^2}{2R_2} \quad \text{——— 2.}$$

எனவும் எழுதலாம்.

ஆனல், $AB = AC - BC$ ——— 3.

ஆகும். C-யின் வழியாக n-ஆவது வளையம் செல்வதினல்,

$$2AB = n\lambda \quad \text{——— 4.}$$

ஆகும், சமன்பாடு 1, 2 இவைகளின் மதிப்புக்களை 3-இல் பதிலீடு செய்ய,

$$AB = \frac{r_n^2}{2}\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

அல்லது, $2AB = r_n^2\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$ எனக் கிடைக்கும்.

சமன்பாடு 4 உடன் ஒப்பிட

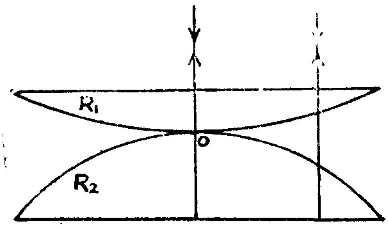
$$r_n^2\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right] = n\lambda$$ எனக் கிடைக்கும்.

இது இருள் வளையத்திற்கான நிபந்தனையாகும். பொலிவு வளையத்திற்கு,

$$r_n^2\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right] = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$$ என்னும்

நிபந்தனை கிடைக்கும்.

இரண்டு வளைபரப்புகளும் குவிப்பரப்புக்கள் எனில், அமைப்பு படம் 16-13-ல் உள்ளவாறு இருக்கும். இந்நிலையில்,



படம் 16.13

n-ஆவது இருள் வளையத்திற்கு,

$$r_n^2 \left[\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right]=n\lambda$$ என்றும்,

பொலிவு வளையத்திற்கு,

$$r_n^2 \left[\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right]=(2n-1)\frac{\lambda}{2}$$ என்றும் மதிப்புகள் அமையும்.

இந்த வகை அமைப்புகளைக் கொண்டு ஒரு வளைபரப்பின் வளைவு ஆரம் தெரிந்திருந்தால் மற்றதைக் கணக்கிட இயலும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. சோப்புப் படலம் ஒன்று குத்து நிலைக்கு 35° கோண சாய்வில், பார்க்கபடுகின்றது. படலத்தின் தடிமம் 5×10^{-7} மீ. எனில், எதிரொளிப்பு மூலம் பார்வைப் புலத்தில் அமையும் எந்தெந்த அலைநீள ஒளி மறையும் எனக் காண்க. ($\mu = 1.33$).

i என்பது படுகோணம் எனவும், r என்பது விலகு கோணம் எனவும் கொள்ளவும்.

எனவே, $\mu = \dfrac{\sin}{\sin r}$

$$1{\cdot}33 = \frac{\sin 35}{\sin r}$$

எனவே, $\sin r = \dfrac{1{\cdot}33}{\sin 35}$

$r = 25{\cdot}55^\circ$ ஆகும்.

எனவே, $\cos r = 0{\cdot}9$

மென்படலங்களில் ஏற்படும் குறுக்கீடு மூலம்,

$2\mu t \cos r = n\lambda$ என்பது தெரியும்.

t என்பது படலத்தின் தடிமம்.

(i) முதல் வரிசைக்கு, $n=1$,

$$\therefore \lambda_1 = 2\times 1.33\times 5\times 10^{-7}\times 0.90$$

$$= 12\times 10^{-7}$$ மீட்டர்

இந்த அலை நீள ஒளி புறச்சிகப்பு பகுதியில் அமையும்.

(*ii*) இரண்டாம் வரிசைக்கு $n=2$

$$\therefore\ 2\lambda_2 = 2\times1.33\times5\times10^{-7}\times0.90$$

$$\therefore\ \lambda_2 = 6.0\times10^{-7} \text{ மீட்டர்}$$

இந்த அலை நீளம் கொண்ட ஒளி பார்வை பகுதியில் உள்ளது.

(*iii*) $n=3$ என்று கொண்டால்,

$$3\lambda_3 = 2\times1.33\times5\times10^{-7}\times0.90$$

$$\therefore\ \lambda_3 = 4.0\times10^{-7} \text{ மீட்டர்}$$

இந்த அலை நீளம் பார்வைப் பகுதியில் அமையும்.

(*iv*) $n=4$ என்று கொண்டால்,

$$4\lambda_4 = 2\times1.33\times5\times10^{-7}\times0.90.$$

$$\therefore\ \lambda_4 = 3\times10^{-7} \text{ மீட்டர்.}$$

இந்த அலைநீளம் புற ஊதாப் பகுதியில் அமையும். எனவே, பார்வைப்புலத்தில் 6×10^{-7} மீட்டர் அலை நீளமும் 4.0×10^{-7} மீட்டர் அலை நீளமும் கொண்ட ஒளிகள், பார்வை பகுதியில் எதிரொளித்த ஒளியில் மறையும் அலை நீளங்கள் ஆகும்.

2. கண்ணாடியிலான காற்று ஆப்பு 6000×10^{-10} மீட்டர் அலை நீளம் கொண்ட ஒளியால் குத்தாக ஒளியூட்டப்படுகின்றது. ஆப்பு வடிவின் கோணம் 0.01 ரேடியன். எதிரொளித்த ஒளியின் மூலம் பார்க்கப்படும் பொழுது ஆப்பின் விளிம்பிலிருந்து எவ்வளவு தொலைவில் 10-வது வரி கிடைக்கும்.

கணக்குப்படி, $\theta = 0.01$ ரேடியன்

$$n = 10$$

$$\lambda = 6000\times10^{-10} \text{ மீட்டர்}$$

$$2t = n\lambda$$

$$\theta = \frac{t}{x}$$

$$\therefore\ t = \theta x$$

$$\therefore\ 2\,\theta\, x = n\lambda$$

$$x = \frac{n\lambda}{2\theta}$$

$$= \frac{10\times6000\times10^{-10}}{2\times0.01} = 0.33\times10^{-2} \text{ மீட்டர்.}$$

3. சதுரவடிவ மேற்பரப்பு கொண்ட செல்லோபின் மென் படலமொன்று காற்று ஆப்பு வடிவில் உள்ளது. அதன் விலகல் எண் 1·5. படலத்தின் இரு விளிம்புகளிலும் உள்ள தடிமங்கள் முறையே t_1, t_2. 6000×10^{-10} மீட்டர் அலைநீளம் கொண்ட ஒற்றை நிற ஒளி மூலம் குறுக்கீட்டு வரிகள் உண்டாகும் பொழுது, படலத்தின் மீது 10 வரிகள் தெரிகின்றன. $(t_2 - t_1)$-ன் மதிப்பைக் காண்க.

சதுரத்தின் பக்கமொன்றின் நீளம் x எனில்,

$$x = 10\beta$$

$$\beta = \frac{x}{10} = \frac{\lambda}{2\theta\mu}$$

$$\theta = \frac{t_2 - t_1}{x}$$

$$\lambda = 6000 \times 10^{-10} \text{ மீட்டர்}$$

$$\mu = 1.5$$

$$\therefore \beta = \frac{\lambda}{2\theta\mu}$$

அல்லது $\lambda = 2\theta\,\mu\,\beta$

$$6000 \times 10^{-10} = 2 \times \frac{(t_2 - t_1)}{x} \times 1{\cdot}5 \times \frac{x}{10}$$

$$\therefore \quad (t_2 - t_1) = \frac{6000 \times 10^{-10} \times 10}{2 \times 1{\cdot}5}$$

$$= 2 \times 10^{-6} \text{ மீட்டர்}$$

4. நியூட்டன் வளையங்கள் அமைப்பில் காற்றுப்படலத்திற்கு பதிலாக ஒளி புகும் திரவப்படலம் ஏற்படுத்தப்படும் பொழுது, n-வது இருள் வளையத்தின் விட்டம் 0.12 மீட்டரிலிருந்து 0·10 மீட்டராக குறைகின்றது. திரவத்தின் விலகல் எண்ணைக் கணக்கிடுக.

நமக்குத் தெரிந்த சமன்பாடு,

$$D_n^2 = \frac{4\,n\lambda R}{\mu}$$

அதாவது, $D_n^2 \propto \frac{1}{\mu}$

$$D_n^2 \propto \frac{1}{1} \quad \text{காற்றிற்கு}$$

$$D_n'^2 \propto \frac{1}{\mu} \quad \text{திரவத்திற்கு}$$

$$\therefore \frac{D_n^2}{D_n'^2} = \mu$$

$$\therefore \mu = \left(\frac{0.12}{0.1}\right)^2$$

$$= 1.44$$

(5) குவி வில்லை யொன்றை கொண்டு எதிரொளித்த ஒளி மூலம் நியூட்டன் வளையங்கள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. படும் ஒளியின் அலை நீளம் 5890×10^{-10} மீட்டர், n-வது வளையம், $(n+10)$வது வளையம் ஆகியவைகளின் விட்டங்கள் முறையே 4.29×10^{-3} மீட்டர் 7.49×10^{-3} மீட்டர் ஆகும். கண்ணாடித் தகட்டின் மீது அமைந்துள்ள வில்லையின் பரப்பிற்கான வளைவு ஆரத்தைக் கணக்கிடுக.

வாய்பாடு $R = \dfrac{\mu\,(D_{n+s}^2 - D_n^2)}{4s\lambda}$

$s = 10$; $\lambda = 5890 \times 10^{-10}$ மீட்டர்

$D_n = 4.29 \times 10^{-3}$ மீட்டர்

$D_{n+s} = 7.49 \times 10^{-3}$ மீட்டர்

$\mu = 1$

$$\therefore R = \frac{(7.49 \times 10^{-3})^2 - (4.29 \times 10^{-3})^2}{4 \times 10 \times 5890 \times 10^{-10}}$$

$= 1.6$ மீட்டர்

வினாக்கள்

1. மென்படலங்களில் நிறங்கள் தோன்றுதல் எவ்வாறு? நியூட்டன் வளையங்கள் என்றால் என்ன? நியூட்டன் வளையங்கள் மூலம் குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்தும் ஒளியின் அலை நீளம் காணுதலை கொள்கையுடன் விளக்குக.

2. மென்படலங்களில் நிறங்கள் தோன்றுதலை கொள்கையுடன் விளக்குக. எதிரொளித்த ஒளி மூலம் பார்க்கப்படும்

படலமும், கடத்தப்படும் ஒளி மூலம் பார்க்கப்படும் படலமும் ஒன்றுக்கொன்று நிரப்பு நிலை (Complementary) யில் உள்ளதை விளக்குக.

3. காற்று ஆப்பினை விளக்குக. காற்று ஆப்பின் மூலம் மென் கம்பி யொன்றின் விட்டத்தினைக் காணுதலை கொள்கையுடன் விளக்குக.

4. நியூட்டன் வளையங்கள் தோன்றும் விதத்தினை விளக்குக. சிறு அளவில் கிடைக்கும் திரவமொன்றின் ஒளிவிலகல் எண்ணை நியூட்டன் வளையங்கள் மூலம் காணுதலை, கொள்கையுடன் விளக்குக.

5. மென் படலங்களில் ஒளிப்படும்போது ஏற்படும் பாதை வேறுபாட்டுக்கான சமன் பாட்டைப் பெறுக. நியூட்டன் வளையங்கள் ஏற்படுதலை இந்த சமன் பாட்டைக் கொண்டு விளக்கி, பயன்படும் வில்லையின் வளைவு ஆரத்தைக் காணும் முறையை விளக்குக.

6. குவி, குழி பரப்புகளுக்கிடையே அமையும் காற்றுப் படலத்தின் மூலம் நியூட்டன் வளையங்களை உண்டாக்கி, குவிப்பரப்பின் வளைவு ஆரம் தெரிந்திருந்தால், குழிப்பரப்பின் வளைவு ஆரத்தினைக் காணுதலை விளக்குக.

17. குறுக்கீட்டு மானிகள்

17.1 படும் அலையின் வீச்சைப் பிரித்து குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்தும் முறையினை அடிப்படையாகக் கொண்டு அமைக்கப் பட்ட கருவிகள் குறுக்கீட்டு மானிகள் ஆகும். இவை பல வகைப் பட்ட பயன்கள் கொண்டவை. இவற்றில் வாயு ஒன்றின் விலகல் எண்ணை வேறுபட்ட அழுத்தங்களிலும், வெப்ப நிலை களிலும் காணுதலுக்கு அமைக்கபட்ட குறுக்கீட்டு மானிகள் விலகலெண்மானிகள் எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. அவ்வகை யில் ராலே குறுக்கீட்டுமானி, ஜாமின் குறுக்கீட்டுமானி முதலிய வற்றைக் கொள்ளலாம். மைக்கேல்சன் அமைத்த குறுக்கீட்டு மானி மிக நுட்பம் வாய்ந்தது. இதனைக் கொண்டு ஒளி ஊடுருவும் மென் பொருள் ஒன்றின் தடிமம், விலகல் எண் ஆகியவற்றைக் காணலாம். மிகக்குறைந்த அளவு அலைநீள வேறுபாடு கொண்ட இரண்டு நிறமாலை வரிகள் ஒற்றை நிறத்தைக் கொண்டவை எனில், அவற்றால் ஏற்படும் குறுக்கீட்டுப்பாங்கத்தின் மூலம் அவை களுக்கு இடைப்பட்ட அலை நீள வேறுபாட்டைக் காணலாம். இவற்றுடன், மைகேல்சனின் குறுக்கீட்டு மானியைக் கொண்டு மீட்டர் கோலினை ஒளி அலை நீளங்களின் உதவியுடன் படித்தர மாக்க முடிகின்றது. இதற்குக் குறிப்பிட்ட ஒரு நிறமாலையில் அமையும் ஓர் ஒற்றை நிற ஒளியின் எத்துனை அலைநீளங்களை மீட்டர் கோலானது உள்ளடக்க இயலும் என்று துல்லியமாக மதிப்பிடல் வேண்டும். ஆக, குறுக்கீட்டு விளைவின் பயன்களில் ஒரு வகையாக குறுக்கீட்டுமானிகள் விளங்குகின்றன.

17.2 விலகலெண் மானிகள்

வாயுக்களின் விலகல் எண்களையும் மென் தடிமம் கொண்ட ஒளி ஊடுருவும் திடப் பொருள்களின் விலகல் எண்களையும் காணு தலுக்கு அமைக்கப்பட்ட குறுக்கீட்டுமானிகள், விலகலெண்மானி கள் எனப்படும். இவ்விலகலெண்மானிகள் மூலம், வெவ்வேறு அழுத்தங்களில் வாயுக்களின் விலகல் எண்கள் காணுதலுக்கு

இயலும். இவ்வகை குறுக்கீட்டு மானிகளில் ஜாமின் (Jamin), ராலே (Rayleigh) ஆகிய இருவர் அமைத்தவைகளை இங்கே காணலாம். படும்அலையின் விச்சினைப் பிரிப்பதின் மூலம் கிடைக்கும் இரு ஒற்றை நிறக் கதிர்களைக் கொண்டு குறுக்கீட்டு விளைவினை தோற்றுவிக்கும் முறையில் இவை செயல்படுகின்றன. இரண்டாகப் பிரித்த கதிர்களை மீண்டும் சந்திக்கும்படி செய்வதால் குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் உண்டாகின்றது.

பிரிந்து பரவும் கதிர்களில் ஒன்றின் பாதையில் μ அளவு விலகல் எண்ணும், t அளவு தடிமனும் கொண்ட ஒளி புகும் பொருளொன்றினை வைப்பதினால் $(\mu-1)t$ அளவு கூடுதல் பாதை வேறுபாடு அக்கதிர்களுக்கிடையே ஏற்படுகின்றது. இப்பாதை வேறுபாட்டால் குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தில் இடம் பெயரும் வரிகளின் எண்ணிக்கை n எனில்,

$$(\mu-1)\,t=n\lambda$$

என எழுதலாம். இங்கு, λ ஒற்றை நிற ஒளியின் அலை நீளமாகும்.

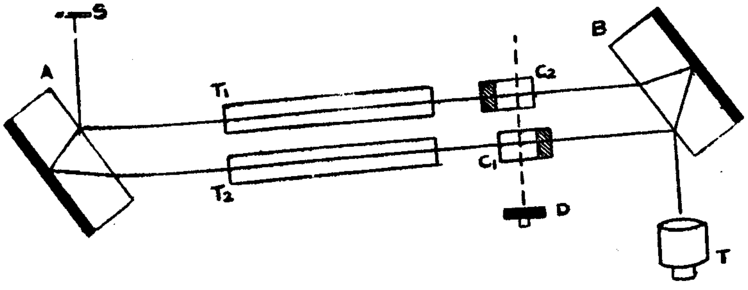
ஒற்றை நிற ஒளிகொண்டு தோற்றுவித்த எல்லா வரிகளும் ஒரேமாதிரி இருப்பதினால், இடப்பெயர்ச்சி எந்த வரியினின்று ஏற்பட்டது என்பதையும், எத்துணை வரிகள் இடப் பெயர்ச்சி அடைந்தன என்பதையும் அறிதல் இயலாது. எனவே, முதலில் வெள்ளொளி கொண்டு குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் ஏற்படுத்தப்படும். இப்பாங்கத்தில் மையவரி கருமையாகவும் மற்ற வரிகள் வெவ்வேறு நிறம் கொண்டும் தோன்றும். ஒளிபுகும் மென் தகட்டை கதிரொன்றின் பாதையில் வைப்பதற்கு முன்னர், மைய கருமை வரி குத்துக் குறுக்குக் கம்பியுடன் இணையுமாறு வைத்து,கண்ணருகியுடன் இணைக்கபட்டுள்ள திருகு அளவியிலுள்ள அளவினைக் குறித்துக் கொள்ளல் வேண்டும். பின்னர், மென் தகட்டினை கதிரொன்றின் பாதையில் வைக்க, கருமை வரி இடப்பெயர்ச்சி அடையும். திருகின் மூலம் கண்ணருகியை நகர்த்தி குத்துக் குறுக்குக் கம்பியுடன் கருமை வரி பொருந்தும்படி செய்து, மீண்டும் அளவினை எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். இரண்டு அளவுகளின் வேறுபாடு இடப்பெயர்ச்சி தொலைவினைக் கொடுக்கும்.

வெள்ளொளி மூலத்தை எடுத்து விட்டு, ஒற்றை நிற ஒளி மூலத்தைக் கொண்டு வரிபாங்கத்தை உண்டாக்க வேண்டும். இடப்பெயர்ச்சி தொலைவினுள் அடங்கும் ஒற்றை நிற வரிகளின்

எண்ணிக்கை n-ஐக் கணக்கிட வேண்டும். n-இன் மதிப்பைக் கொண்டு, கதிரொன்றின் பாதையில் வைக்கப் பட்ட பொருளின் தடிமம் 't' தெரிந்தால் μ-வையும், μ தெரிந்தால் t யையும், $(\mu-1)\, t = n\lambda$ என்னும் சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடலாம்.

17.3 ஜாமின் விலகலெண் மானி

ஜாமின் விலகலெண்மானியின் முக்கிய அமைப்புகள் படம் 17.1-இல் காட்டப்பட்டுள்ளன. S என்பது அகண்ட ஒளிமூலம். A,B என்பவை அவற்றின் பின் பக்கங்களில் ரசம் பூசப்பட்ட சமதடிமம் கொண்ட கண்ணாடித் தகடுகள். S-இலிருந்து வரும் கதிர்கள் A என்னும் கண்ணாடித் தகட்டின் மீது பட்டு, அதன் முன்பரப்பில் பகுதி எதிரொளிப்பு மூலம் பிரியும் பகுதியில் உள்ள கதிர்கள், B-யை நோக்கி பரவுகின்றன. விலகலடைந்த மறுபகுதியில் உள்ள கதிர்கள், ரசம் பூசப்பட்ட பின்பரப்பினால் எதிரொளிக்கபட்டு, B- யை நோக்கிப் பரவுகின்றன. இரண்டு பகுதிகளுக்குமிடையே போதுமான இடைவெளியை ஏற்படுத்தும் அளவுக்கு கண்ணாடித் தகடு A, தடிமம் மிக்கதாக உள்ளது. பிரிந்த பின்னர் பரவும் கதிர்களின் பாதைகளில் T_1, T_2 என்னும் ஒப்புகை கொண்ட வெற்றிடக் குழாய்கள் அமைக்கப்பட்டிருக்



படம் 17.1

கின்றன. குழாய்களின் வழியாகச் செல்லும் கதிர்கள் கண்ணாடி தகடு A-க்கு இணையாக படம் 17.1- இல் உள்ளவாறு அமைக் கப்பட்டுள்ள கண்ணாடித்தகடு B- இன் மீது படுகின்றன. A- யில் முன்பரப்பில் எதிரொளித்த கதிர்கள் B-யில் விலகலடைந்து, அதன் பின்பரப்பில் எதிரொளிப்பிற்குப்பின் தொலைநோக்கியை அடைகின்றன. A- யில் விலகல் அடைந்து B- யை அடையும் கதிர்கள் அதன் முன்பரப்பிலேயே எதிரொளிப்படைந்து தொலை நோக்கிக்கு வருகின்றன. இந்த இரண்டுப் பகுதிகளும் படும் அலையொன்றினின்று அதன் வீச்சைப் பிரிப்பதன் மூலம்

பெறப்பட்டவையாதலால், அவை குறுக்கீட்டு விளைவின் மூலம், பாங்கத்தை உண்டாக்குகின்றன.

ஆய்வின் தொடக்கத்தில் குழாய்கள் T_1, T_2 இரண்டும் வெற்றிடமாக்கப்பட்டுள்ளன. இந்நிலையிலேயே குறுக்கீட்டு வரி பாங்கம் தொலை நோக்கியின் பார்வைப்புலத்தில் தெளிவாக உள்ளது. விலகல் எண் காணவேண்டிய வாயுவானது, வெற்றிடக் குழாய்கள் (T_1 அல்லது T_2) ஏதாவது ஒன்றில் சீராக நிரப்ப வேண்டும். இதனால் பாதை வேறுபாடு உண்டாகும். எனவே, பாங்க வரிகள் இடப்பெயர்ச்சி அடையத்துவங்கும். வாயுவை நிரப்ப தொடங்கியதினின்று முடியும் வரை, தொலைநோக்கியில் குறுக் குக்கம்பியினைக் கடக்கும் வரிகளின் எண்ணிக்கையை (n) தீர்மானிக்க வேண்டும்.

குழாயின் நீளம் l, வாயுவின் விலகல் எண் μ எனில், பாதை வேறுபாடு $(\mu - 1)\,l$ ஆகும். இந்தப் பாதை வேறுபாடு $n\lambda$-வுக்குச் சமமாகும். எனவே, $(\mu - 1)\,l = n\lambda$ என்னும் சமன்பாடு கிடைக்கும். l, n, λ தெரியுமாகையால் μ-வை கணக்கிட்டு விடலாம்.

ஒவ்வொரு முறையும் வரிகளின் எண்ணிக்கையை காணுதல் கடினமானது ஆகும். இதற்கு ஜாமின் ஈடு செய்வி (Compensator) ஒன்றினை அமைத்து அதன் மூலம் விலகல் எண் μ-வின் மதிப்பை நேரடியாகப் பெற இயலுமாறு செய்தார். ஈடு செய்வியில் ஒரே கண்ணாடித் தகட்டினின்று வெட்டி எடுக்கப்பட்ட C_1, C_2 என்னும் கண்ணாடித்தகடுகள் ஓரச்சைப்பற்றி சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. அச்சின் ஒரு முனையில் D என்னும் வட்டு (Disc) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இதன்மீது விலகல் எண்களாகவும், அலைநீளங்களின் எண்ணிக்கைகளாகவும், அளவீடுகள் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

படம் 17.1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு C_1 ஒரு கற்றையின் பாதையிலும், C_2 மற்றதின் பாதையிலும் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. வட்டு D சுழற்றப்பட்டால் $C_1 . C_2$ இவற்றின் வழியாகச் செல்லும் கதிர்களின் பாதைகளில் மாறுதல் ஏற்படுகின்றது. சுழலும் போது ஒன்றில் பாதை வேறுபாடு கூடுகின்றது; மற்றதில் குறைகின்றது. சுழற்சிக்குத் தக்கவாறு அச்சுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ள குறிமுள் வட்டின்மீது நகர்ந்து சரியான அளவீடுகளைக் காட்டுகின்றது.

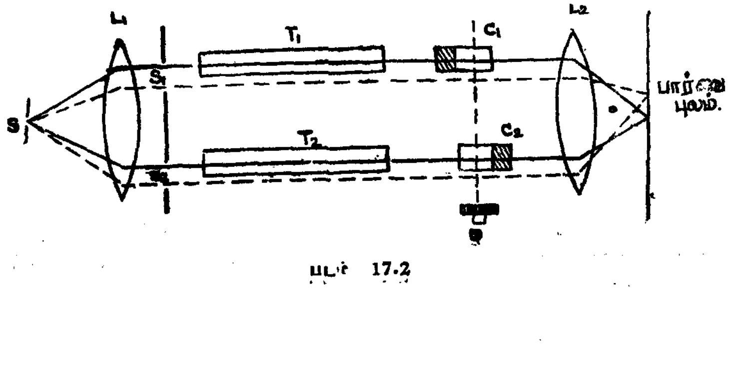
ஆய்வின் தொடக்கத்தில் குழாய்கள் T_1, T_2 இரண்டும் வெற்றிடமாக்கப்பட்டுள்ளன. ஈடுசெய்வி கதிர்களின் பாதையில் வைக்கப்பட்டு வெள்ளொளி கொண்டு வரிப் பாங்கம் ஏற்படுத்

தப்படுகின்றது. உண்டாகும் கருமை வரியானது குத்துக்குறுக்கு கம்பியுடன் இணையுமாறு செய்ய, வட்டு D சுழற்றப்படுகின்றது. இந்நிலைக்கான அளவினைக்குறித்துக் கொள்ளல் வேண்டும்.

பின்னர், T_1 அல்லது T_2 குழயில் மட்டும் வாயு நிரப்பப் பட்டால் கருமை வரி இடப்பெயர்ச்சி அடைகின்றது. வாயு நிரப்புதலை நிறுத்திய பிறகு, C_1-ஐ நிலையாகக்கொண்டு C_2மட்டும் சுழலுமாறு வட்டு D-யை சுழற்றி, மீண்டும் கருமை வரி குறுக்குக் கம்பியுடன் இணையும்படி செய்தல் வேண்டும். இச்சுழற்சிக்குப் பிறகு கிடைக்கும் அளவினுக்கும், முன்னளவினுக்குமான வேறு பாடு விலகல் எண்ணைக் கொடுக்கும். இதனால் ஜாமின் ஈடு செய்வியினைப் பயன்படுத்தி வாயுக்களின் விலகல் எண்களை வேறு பட்ட அழுத்தங்களிலும், வெப்ப நிலைகளிலும் உடனுக்குடன் காண இயலும்.

17.4 ராலே விலகலெண் மானி

யங் அமைத்த இரட்டைப் பிளவு (Double slit) அமைப் பினைப் போன்ற வகையில், ஆர்கான் (Argon), ஹீலியம் (Helium) ஆகிய வாயுக்களின் விலகலெண்களைக் காணுதலுக்காக ராலே விலகல்மானி ஒன்றை அமைத்தார். படம் 17.2-இல் இதன் அமைவு முறைகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. S என்னும் வெள் ளொளி மூலத்திலிருந்து வரும் கதிர்கள் L_1 என்னும் குவிவில்லை யால் இணையாக்கப்படுகின்றன. பின்னர், S_1, S_2 என்னும் இரு குறுகிய நீள் பிளவுகளின் வழியாக தனித்தனி பாதைகளில் பரவு கின்றன. நீள் பிளவுகள் S_1, S_2 இவைகளின் மேல் பகுதியினின்று வெளியேறும் கதிர்கள் T_1, T_2 என்னும் குழப்களின் வழியாகச் சென்று அவற்றின் பாதைகளில் உள்ள ஈடு செய்வியின் கண்ணா டித் தகடுகள் மூலமும் பரவி, வில்லை L_2-வை அடைகின்றன. வில்லை L_2 அவற்றைப் பார்வைப் புலத்தின் கீழ்பகுதியில் குவிப்ப தால் கீழ்பகுதியில் ஒரு குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் உண்டாகின்றது.



படம் 17.2

இதே போன்று, S_1, S_2 இவற்றின் கீழ்ப் பகுதிகளிலிருந்து பரவும் கதிர்கள் நேரடியாக L_2-ஐ அடைந்து, குவிதலுக்குப் பிறகு பார்வைப் புலத்தின் மேற்பகுதியில் மற்றுமொரு குறுக்கீட்டு பாங்கமொன்றை தோற்றுவிக்கின்றன. இப்பொழுது உண்டாகும் இரண்டு குறுக்கீட்டுப் பாங்கங்களின் மைய இருள் வரிகளும் குத்துக் குறுக்குக் கம்பியுடன் இணைந்து இருக்க, ஈடு செய்வியின் கண்ணாடித் தகடுகள் (C_1, C_2) சற்றே சுழற்ற வேண்டியிருக்கும்.

இவ்வாறு சரி செய்த பின்னர், ஏதேனும் ஒரு குழாயில் (T_1 அல்லது T_2) விலகலெண் காணவேண்டிய வாயுவை அடைக்க, வெள்ளொளியால் பார்வை புலத்தின் கீழ்பகுதியில் உண்டாக்கப்பட்ட பாங்கத்தின் மையவரி இடப்பெயர்ச்சி அடைகின்றது. இடப்பெயர்ச்சி அடைந்த மையவரி, மீண்டும் மேல் பகுதியில் உள்ள நிலையான குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தின் மைய வரியுடன் ஒன்றுமாறு செய்ய, ஈடு செய்வியின் கண்ணாடித் தகடுகளை வட்டு D-யின் மூலம் சுழற்ற வேண்டும். விலகலெண் பகுதிகளாக வட்டின் மீது அளவீடுகள் இருப்பின், நேரடியாக விலகெண்ணைக் கண்டு கொள்ளலாம்.

குழாய்கள் T_1, T_2 இவற்றினுள் ஒன்றில் காற்றும் மற்றதில் வாயும் இருந்தால், காற்றின் விலகெண் μ_0 எனவும், P அழுத்தத்தில் உள்ள வாயுவின் விலகெண்ணை μ_p எனவும் கொண்டால்; $(\mu_p - \mu_0)\ l = n\lambda$ ஆகும். இங்கு, n-என்பது இடப்பெயர்ச்சி தொலைவுக்குச் சமமான ஒற்றை நிற வரிகளின் எண்ணிக்கையாகும். ஜாமின் விலகலெண் மானியைவிட துல்லியமாகவும் எளிதாகவும் இது இருப்பதினால், வாயுக்களிலும் திரவங்களிலும் ஏற்படும் சிறு விலகலெண் மாறுதல்களைக் காண, இந்தவகை குறுக்கீட்டுமானி அதிகம் பயன்படுகின்றது. உப்பு கரைசல்களில் செறிவைக் காணவும் பயன்படுகின்றது.

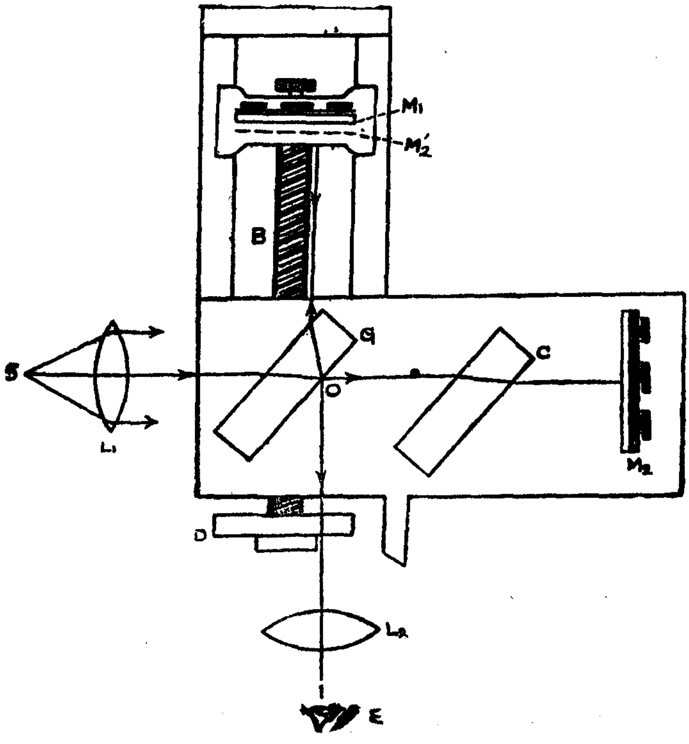
17.5 மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டு விளைவுமானி

குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகளினைக் கொண்டு பலவித அளவீடுகளைச் செய்ய இயலும் கருவி ஒன்றினை மைக்கேல்சன் அமைத்தார். இதில், பகுதி எதிரொளிப்பு மூலம் படும் ஒற்றை நிற ஒளி அலைகளின் வீச்சுக்களைப் பிரித்து, இரண்டு ஓரியல் மூலக்கற்றைகளை உண்டாக்கி, குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்படுமாறு செய்யப்படுகின்றது. இதனைக்கொண்டு, சமதடிமமும் சமசாய்வும் கொண்ட குறுக்கீட்டுப் பாங்க வரிகளைப் பெற இயலும். உண்மையிலேயே ஓரலைநீள ஒளியினில், கிட்டத்தட்ட 50 செ.மீ. அளவுக்கு ஏற்படும்

பாதை வேறுபாடுகளைக் கொண்டு சமசாய்வு (equal inclination) குறுக்கீட்டு வரிகளை உண்டாக்கஇயலும்.

(a) ஒளியியல் பகுதிகள்

படம் 17.3-இல் மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டு வளைவு மானியின் முக்கிய ஒளியியல் பகுதிகள் எளிய முறையில் காட்டப்பட்டுள்ளன. M_1, M_2 இரண்டும் ஒளியியல் தளத்தினைக் கொண்ட முன் பக்கத்தில் நன்கு ரசம் பூசப்பட்ட ஆடிகள். சிறப்பு அமைவுகள் கொண்ட தாங்கிகளின் மேல் அவை பொருத்தப்பட்டுள்ளன. தாங்கிகளில் உள்ள திருகுகளின் மூலம் குத்து அச்சினுக்கு கோணம் அமைக்கும் வண்ணமோ, கிடை அச்சினுக்கு கோணம் அமைக்கும் வண்ணமோ, அவற்றைச் சாய்க்க இயலும். ஆடி M_1 பொருத்தப்பட்டுள்ள தாங்கியானது நீள நுண் திருகு அமைப்பு B-யினால் முன்னும் பின்னும் நேர்க்கோட்டுப் பாதையில் அதிக தொலைவு இயங்கவல்லவாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. அந்தத்



படம் 17.3

திருகினையே அடிப்படையாகக் கொண்டு வட்ட அளவுகோல் ஒன்றுடன் வட்டு D பொருத்தப்பட்டு சுழல் சக்கரமென்றினை இயக்குவதின் மூலம், M_1 நகரும் தொலைவினை மிகத் துல்லியமாக அளவீடு செய்ய இயலும். இவ்வமைப்பு நுண் திருகு அளவி (Micro screw gauge)-யாக செயல்படுகின்றது. இவற்றுடன் ஒளியியல் தளமாகவும், சமதடிமமும் கொண்ட ஒரே கண்ணாடித் தகட்டினின்று வெட்டி எடுக்கப்பட்ட G, C-என்னும் இரண்டு தகடுகள் படத்திலுள்ளவாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளன. தகடு G-யானது பின்பக்கம் பகுதி ரசம் பூசப்பட்டதாகும். C ஒளிப்பாதை சமனுக்கும் ரசம் பூசப்படாத கண்ணாடித் தகடாகும். இவை இரண்டும் சரியான தாங்கிகள் மூலம் பொருத்தப்பட்டு ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருப்பதுடன் ஆடிகள் M_1, M_2 இவற்றிற்கு $45°$ கோணத்தில் அமைந்துள்ளன. அகண்ட ஒளிமூலம் S-இலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றைகள் நிறம் நீக்கிய வில்லை (Achromatic lens) L_1 மூலம் கண்ணாடித் தகடு G மீது படும்படி செய்யப்படுகின்றது. தொலை நோக்கியின் வழியாகப் பார்த்தால் குறுக்கீட்டு வரிகள் தோன்றும்.

(b) செயல்படும் முறை

S என்னும் அகண்ட வெள்ளொளி மூலத்திலிருந்து வரும் ஒளியானது, வில்லை L_1-ஆல் இணையாக்கப்பட்டு, கண்ணாடித் தகடு G மீது படுகின்றது. G ஆனது வில்லையின் அச்சிற்கு $45°$ கோண சாய்வில் உள்ளது. G-இன் பின்பக்கம் ரசம் பூசப்பட்டுள்ளது. படும் ஒளிக் கற்றையின் வீச்சானது G-யின் பின்பக்கத்தில் பகுதி எதிரொளிப்பு, பகுதி விலகல் இரண்டினாலும் பிரிக்கப்படுகின்றது. இரண்டு பகுதிகளுக்குமான வீச்சியின் அளவு சற்றேறக்குறைய சமமாக உள்ளது. எதிரொளிக்கப்பட்ட பகுதி, ஆடி M_1-இன் மீது குத்தாகப் பட்டு, அதே திசையில் எதிரொளிக்கப்பட்டு, G-இன் வழியாக விலகலடைந்து, வில்லை L_2-வை நோக்கிச் செல்கின்றது. இதே நேரத்தில், G-யில் விலகலடைந்து, M_2-இன்மேல் குத்தாகப் படும் கதிரானது எதிரொளிக்கப்பட்டு, மீண்டும் அதே பாதையில் வந்து G-இன் மீது படுகின்றது. G-இன் பின் பக்கத்தில் எதிரொளிப்பின் மூலம் $90°$ திசை திருப்பப்பட்டு, வில்லை L_2-வின் வழியாக கண்ணை அடைகிறது. இந்த இரண்டு கதிர்களும் ஒரே ஒளி மூலத்திலிருந்து வருபவைகளாகையால் குறுக்கீட்டு விளைவினை ஏற்படுத்தும். இவற்றை ஒரு தொலை நோக்கி கொண்டு பார்த்தால், குறுக்கீட்டு விளைவு வரிகள் தோன்றும். L_2-க்குப் பதிலாக தொலை நோக்கிப் பயன்படுத்தப்படும். பொதுவாக, ஏற்படும் வரிகள் பலவகைப்பட்டவை என்றபோதிலும், நேர்கோட்டு

குறுக்கீட்டுப் பாங்கமும், வட்ட குறுக்கீட்டுப் பாங்கமும் மட்டுமே ஆய்வுகளில் பயன் படுத்தப்படுகின்றன.

(c) ஒளியியல் பாதை

ஆடி M_1-க்குச் செல்லும் கதிரானது கண்ணாடித் தகடு G-யின் பின் பக்கத்தில் எதிரொளித்த பிறகு, அதன் வழியாக இரு முறை ஊடுருவிச் செல்கின்றது. ஆனால் M_2-க்குச் செல்லும் கதிரானது, G-யின் பின்பக்கத்தில் விடுபட்ட பின்னர், முழு பாதையும் காற்றிலேயே அமைகின்றது. இதனால், G-யின் தடிமம் t-எனில், M_1-க்குச் செல்லும் எதிரொளித்த கதிரின் பாதையில் $2(\mu-1)t$ அளவு அதிகமான பாதை நீளம் ஏற்படுகின்றது. ஒற்றை நிற ஒளிக்கு இப்பாதை வேறுபாடு இருந்தாலும் வரிகள் ஏற்படும். ஆனால், வெள்ளை நிற ஒளிக்கு இந்த அதிக அளவு பாதை நீளம் சரிசெய்யப்பட வேண்டும். எனவே, இதனை ஈடு செய்வதற்காகவே G-யின் அளவே தடிமம் கொண்ட கண்ணாடித் தகடு C, G-க்கு இணையாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால், G-யில் ஊடுருவி M_2-ஐ அடையும் கதிரானது இரு முறை C-யின் வழியாகச் செல்வதால் அதிகப்படியான பாதை நீளம் சரி செய்யப்படுகின்றது.

(d) கட்ட வேறுபாடு

G-ஆல் பிரிக்கப்பட்டு முறையே M_1,M_2 இரண்டையும் அடையும் கதிர்கள் M_1,M_2 இவற்றில் அடையும் எதிரொளிப்பில் π அளவு கட்ட வேறுபாட்டை அடைகின்றன. சமஅளவு கட்ட வேறுபாடு உண்டாவதனால், ஒன்றுக்கொன்று சமனாக்கப்படுகிறது. G-யின் பின்பக்கத்தில் ரசப்பூச்சின் தடிமம் அதிகமாக இருந்தால், M_2-வில் எதிரொளித்து மீண்டும் G-யில் எதிரொளிப்படையும்பொழுது கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு π உண்டாக்கப்படுகிறது. இதனால், குறுக்கீட்டில் பங்குகொள்ளும் கதிர்களுக்கிடையே $OM_1=OM_2$ ஆக இருந்தாலுங்கூட, கட்ட வேறுபாடு π உண்டாக்கப்படுகிறது.

எட்ஸர் (Edsor) என்பார், G-யில் உள்ள ரசப்பூச்சின் தடிமம் மிக மெல்லியதாக இருந்தால், காற்றிலும் கண்ணாடியிலும் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகள் ஒத்த தன்மை கொண்டவையாக இருக்குமெனக் கூறினார். எனவே, ஏற்படும் கட்ட வேறுபாடானது ரசப்பூச்சு கொள்ளும் தடிமத்தைக் கொண்டே அமையுமென்பது தெளிவு. இந்த நிலையில், இரண்டு கதிர்களும் காற்றில் பரவும்

போதுமட்டுமே ஏற்படும் பாதை வேறுபாடே அவைகளுக்கிடைப் பட்ட பாதை வேறுபாடாகும்.

குறுக்கீட்டு மானியை நன்கு சரிசெய்து ஒற்றை நிற ஒளி கொண்டு நல்ல குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தை உண்டாக்குவதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது, M_1 ஆடியை வட்டு D- யினுல் 't' தொலைவு நகர்த்தினுல், OA திசையில் அமையும் கதிரில் ஏற்படும் மொத்த வேறுபாடு '$2t$' ஆகும். M_1 மெதுவாக நகரும்பொழுது வரிகள் தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டே இருக்கும். குறிப்பிட்ட தொலைவு M_1-நகரும்பொழுது, ஆதாரப் புள்ளி ஒன்றைக் கடந்து செல்லும் வரிகளின் எண்ணிக்கை n எனில்,

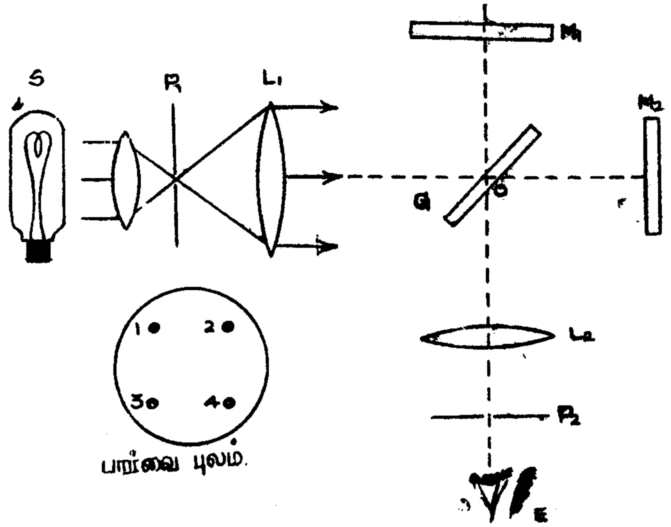
$$2t = n\lambda \quad \text{ஆகும்.}$$

எனவே, 't'-யின், மதிப்பு துல்லியமாகத் தெரிந்தால், λ- வைக் காணலாம்

வில்லை L_2- வின் வழியாக M_1 திசையில் பார்த்தால் M_1 நேரடியாகவும், G-யில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பினுல் உண்டாகும் M_2-வின் படிவம் M_2'-ம் தெரியும். இதன்படி குறுக்கீட்டு விளைவில் பங்குகொள்ளும் ஒரு கதிர் M_1-லிருந்தும், மற்றது M_2-ன் படிவமான M_2'-லிருந்தும் வருவது போலவும் கொள்ளலாம். இதனுல், மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டு மானியின் வரிகளைத் தோற்று விக்கும் பகுதி M_1, M'_2 இவற்றிற்கிடையே ஏற்படுத்தப்படும் காற்றுப் படலம் என்று கொள்ளலாம். உண்மையான ஒரு காற்றுப்படலமெனில், பன்முக எதிரொளிப்பினுல் பல கதிர்கள் தோன்றும். ஆனுல், இந்த படலத்தில் இரண்டே எதிரொளிப்பு கள் மட்டுமே ஏற்படும். G-யானது M_1, M_2 இவற்றிற்குச் சரியாக 45° கோணத்தில் அமைந்தும், M_2' ஆனது M_1-க்கு இணையாகவும் இருந்தால், காற்றுப் படலம் எல்லா இடங்களிலும் சமதடிமம் கொண்டிருக்கும். G- யின் சாய்வினைப் பொறுத்து M_2'-ஆனது M_1-க்கு ஆணையாக இருக்கவோ அல்லது M_2', M_1 இரண்டும் ஒரு நேர் கோட்டின் வழியாக வெட்டிக் கொண்டு அமைந்து ஓர் ஆப்பு வடிவ காற்றுப்படலத்தைக் கூட உண்டாக்கவோ இயலும். இவ்வாறு, சமதடிமம் கொண்டும், வேறுபடும் தடிமம் கொண்டும் அமையும் காற்றுப் படலங்கள் உண்டாகலாம். இதனுல், வட்ட வரிகள் அல்லது பரவளைய வரிகள் எனப் பல வகைப்பட்ட வடிவங்களுடன் வரிகள் தோன்றலாம். ஆனுல், அளவீடுகள் எடுக்கப் பெரும்பாலும் நேர்கோட்டு வரிப் பாங்கமும், வட்ட வரிப் பாங்கமுமே பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

(e) வரிகளைத் தோற்றுவிக்க குறுக்கீட்டுமானியைச் சரிசெய்தல்

கருவியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள அளவுகோல் மற்றும் நுண்ணிய திருகுகள் மூலம் GM_1, GM_2 தொலைவுகளைக் கூடுமானவரை சமமாக இருக்கும்படி செய்தல் வேண்டும். கிட்டத்தட்ட 5 மி.மீ. வேறுபாட்டுக்குள் இத்தொலைவு இருந்தால் சரியமைவுக்குப் போதுமானதாக இருக்கும். ஆடிகள் M_1, M_2 மற்றும் கண்ணாடித் தகடு G ஆகியவற்றிற்கு வரையப் படும் குத்துக்கோடுகள் ஒரே தளத்தில் அமைந்தும், M_1, M_2 இவற்றிற்கிடைப் பட்ட கோணத்தை இருசமமாகப் பிளக்குமாறு G அமைந்தும் உள்ளநிலை, குறுக்கீட்டுமானி சரிசெய்யப்பட்ட நிலையாகும். இதனை அடைவதற்கு படம் 17.4-இல் உள்ளவாறு P_1,P_2 என்னும்



படம் 17.4

சிறு வட்டத்திறப்புகள் அல்லது ஊசித்துளைகளை வைத்து கீழ்க் காணுமாறு சரி செய்ய வேண்டும். திறப்பு P_1 ஆனது அகன்ட ஒற்றை நிற ஒளிமூலம் S-லிருந்து வரும் ஒளியால் ஒளியூட்டப் படுகிறது. மேலும், வில்லை L_1-இன் குவியத்தளத்தில் P_1 இருப் பதால், L_1 மூலம் விலகலடைந்து வெளியேறும் ஒளியானது இணைக்கற்றையாக இருக்கும். முன்பகுதியில் பார்த்தவாறு, G-யில் விலகலும் எதிரொளிப்பும் அடைந்து, முறையே M_2,M_1 இவற்றை அடையும் கதிர்கள், அவற்றில் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் OE திசையில் செல்கின்றன. இவற்றின் பாதையில்

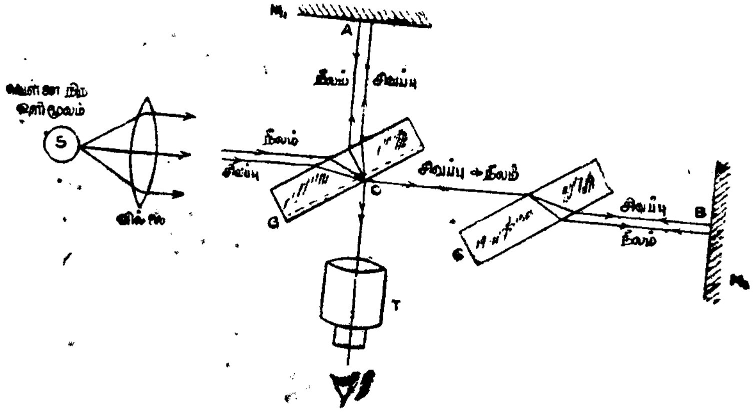
L_2-க்குப் பின்னால் P_2 என்னும் ஊசித்துளைத்திரை வைக்கப்பட்டு, அத்துளைக்குப் பின்னால் கண்ணை வைத்துப்பார்த்தால், நான்கு பொலிவுப் புள்ளிகள் தெரியும். படலத்தில் காட்டியுள்ளவாறு, பார்வைப்புலத்தில் தோன்றும் 1, 2 எண்ணிட்டவை G-யின் ரசம் பூசப்படாத முன்பக்கத்தில் ஏற்படும் பகுதி எதிரொளிப்பாலும், M_1, M_2 இவற்றில் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகளாலும் உண்டானவை ஆகும். 3, 4 எண்ணிட்டவை, பகுதி ரசம் பூசப்பட்ட பின்பக்கத்தில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பாலும், ஆடிகள் முறையே M_1, M_2 இவற்றில் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகளாலும் உண்டானவை ஆகும்.

M_1, M_2, G ஆகியவைகளைத் தகுந்த முறையில் திருகுகளைக் கொண்டு சரிசெய்வதின் மூலம், படிவங்கள் 1, 3 இரண்டும் ஒன்றுமாறும், 2, 4 இரண்டும் ஒன்றுமாறும் செய்யலாம். மீண்டும் M_2-வை சரிசெய்வதின் மூலமோ, அல்லது சிறிதளவு சுழற்றுவதன் மூலமோ, படிவங்கள் 3, 4 இரண்டும் ஒன்றுமாறு செய்யலாம். இப்பொழுது, குறுக்கீட்டுப் பாங்க வரிகள் தோன்றும். மேலும், M_2-வைக் கிடை அச்சு, குத்து அச்சு ஆகியவற்றைப்பற்றி சுழற்றியும், M_1 – ஐ முன்னும் பின்னும் நகர்த்தியும் தேவையான வரிப் பாங்கங்களைத் தோன்றுவிக்க இயலும்.

(f) வெள்ளொளி வரிகள்

ஆடி M_1-இன் பரப்பும், M_2-வின் படிவமான M_2'-ம் ஒன்றையொன்று வெட்டிக்கொள்ளும்போது, அவை வெட்டிக்கொள்ளும் நேர் கோட்டில் அமையும் பாதை வேறுபாடு சுழியமாகும். இது எல்லா விதமான நிறங்கொண்ட ஒளிக்கதிர்களுக்கும் பொருந்தும். எனவே, வெள்ளொளி மூலம் பயன்படுத்தும் பொழுது வெட்டிக் கொள்ளும் நேர் கோட்டில் நிறமற்ற மையவரி ஏற்படும். கண்ணாடித்தகடு G-யின் பின்பக்கம் பூசப்பட்டுள்ள ரசத்தின் தடிமம் அதிகமாக இருந்தால், விலகலடைந்து M_2-க்குச் சென்று திரும்பும் கதிரானது G யின் பின் பக்கத்தில் எதிரொளிக்கப்படும் பொழுது, கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு π அளவு உண்டாக்கப்படும். இதனால், மையவரி கருமையாக இருக்கும். மாறாக, ரசப்பூச்சின் தடிமம் மெல்லியதாக இருந்தால் கட்ட வேறுபாடு உண்டாக்கப்படாது. எனவே, மையவரி வெள்ளையாகவே இருக்கும். இந்த மையவரிக்கு இருபுறங்களிலும் நிறங்கொண்ட வரிகள் உண்டாக்கப்படும். G-யில் ஏற்படும் நிறப்பிரிகைக் காரணமாக வெவ்வேறு அலை நீளங்கொண்ட கதிர்களுக்கு வெவ்வேறு அளவு பாதை வேறுபாடுகள் உண்டாக்கப்படுவதனால், ஒத்த நிறங்கள் பொலிவு வரிசைகளைக் கொடுக்கின்றன. மற்ற மற்ற நிறங்கள் அழிந்துபடு

கின்றன. இதனால், நீலநிறமானது மையவரிக்கு அருகிலும்,சிகப்பு அதிகத் தொலைவிலும் அமைந்து, பல நிறவரிகள் அடுத்தடுத்து உண்டாக்கப்படுகின்றன. படம் 17.5-இல் சிகப்பு நிறக்கதிரும் நீலநிறக்கதிரும் பரவும் பாதைகளும், இறுதியாக O-விருந்து அவை தொலைநோக்கியை அடைதலும் காட்டப்பட்டுள்ளது. இங்குதான் சமனாக்கும் கண்ணாடித் தகட்டின் முக்கியத்துவம் உணரப்படுகின்றது. C இல்லாவிடில், கண்ணாடியிலும் காற்றிலும் அமையும் வெவ்வேறு நிறக் கதிர்களுக்கான பாதை வேறுபாடுகளை ஈடு செய்தல் கடினமானதாகும். அதே நேரத்தில், ஒற்றைநிற ஒளி பயன்படும்பொழுது பாதை வேறுபாடுகளைச் சமனாக்குதல் எளிதானதாக இருக்குமாகையால் ஈடுசெய்யும் கண்ணாடித்தகடு C-யினைப் பயன் படுத்தத் தேவையில்லை.

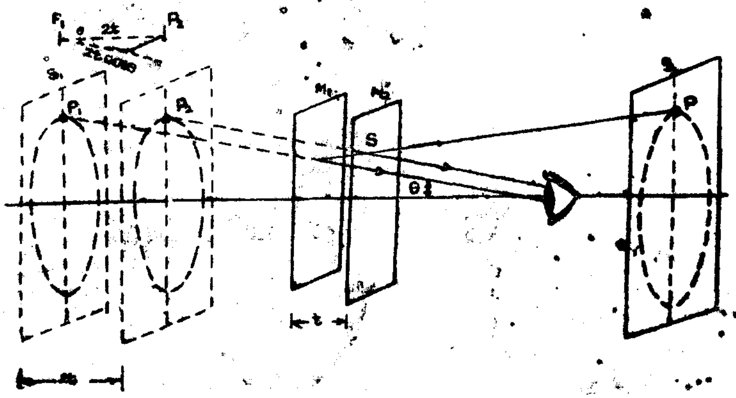


படம் 17.5

ஆய்வில் மையவரிக்கு இருபுறங்களிலும் நான்கு அல்லது ஐந்து நிறவரிகள் மட்டுமே தோன்றும். வரிகளினை யடுத்து சீரான ஒளியூட்டம்தான் இருக்கும். இருப்பினும் தெளிவுபட ஆராயும் பொழுது சீரான ஒளியூட்டம்போல் தோன்றும் பகுதிகளிலும் குறுக்கீட்டு வரிகள் இருத்தலை அறியக்கூடும்.

வெள்ளொளி வரிகளை உண்டாக்க கீழ்க்காணுமாறு சரிசெய்தல் வேண்டும். முதலில், ஒற்றைநிற ஒளிகொண்டு M_2இன் நிலையைச் சரி செய்வதின் மூலம் அதிபரவளைய (Hyperbolic) வரிகளைத் தோற்றுவித்தல் வேண்டும். இப்பெழுது, M_1-னை சுழல் சக்கரத்தினால் மெதுவாக நகர்த்த வேண்டும். வெள்ளொளி வரிகள் ஏற்படும் நிலை வந்தவுடன் பார்வைப்புலத்தில் உள்ள அதிபரவளைய வரிகளின் வளைதிசை (Direction of curvature) மாறும்.

(அதாவது, வரிகளின் குவிவளைவு வலது பக்கமிருந்தால், அவை இடது பக்கமாகத் திரும்பும்). சுழியப் பாதைவேறுபாட்டுக்குச் சற்றேறகுறைய இருக்கும் நிலை தீர்மானித்த பிறகு, ஒற்றை நிற ஒளிக்குப்பதிலாக வெள்ளொளி மூலத்தை வைக்க வேண்டும். M_1-இன் நிலையை மெதுவாக நகர்த்தி நல்ல நிறங்கொண்ட வரிகளை தோன்றச் செய்ய வேண்டும்.



படம் 17.6

(g) வரிகள் தோன்றுதல்

முன்பே பார்த்தது போன்று, ஆடிகள் M_1, M'_2 இவற்றினின்று எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்கள் மூலமே குறுக்கீட்டு விளைவுமானியொன்றில் ஏற்படும் பலதரப்பட்ட எதிரொளிப்புகளைக் கருதும் பொழுது, (படம் 17.6-இல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு) அகண்ட ஒளிமூலம் S-ஆனது, G-யில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பால் ஆய்வாளருக்குப் பின்னால் S' என்னும் நிலையில் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். இதனால் S-க்கு M_1', M_2' இரண்டிலும் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகளால், S_1, S_2 என்னும் இரண்டு மாயப் படிவங்கள் இருக்கும். இந்த இரு மாயப் படிவங்களும் ஓரியல் ஒளி மூலங்களாகச் செயல்படுவதனால் அவற்றில் அமையும் ஒத்த புள்ளிகளுக்கிடையே இருக்கும் கட்ட வேறுபாடுகள் சமமாக இருக்கும். S^1-இன் மீது P என்னும் புள்ளியை எடுத்துக் கொள்வோம். M_1', M_2'-இவற்றில் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகளால், இப்புள்ளி P-க்கு S_1, S_2 இவற்றில் முறையே P_1, P_2 என்னும் மாய படிவங்கள் இருக்கும். M_1-க்கும் M_2'-க்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு 't' எனில், S_1, S_2 இவற்றிற்கிடைப்பட்ட தொலைவு '2t' ஆகும். அகண்ட ஒளி மூலம் பயன்படுவதால் எல்லாக் கதிர்களும் இணையானவைகளாக இருக்காது.

சில கதிர்கள் M_1-ல் குத்தாக எதிரொளிப்பு அடையும். சில கதிர்கள் சிறுகோணம் θ அளவில் படம் 17.6-இல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு எதிரொளிக்கப்படும். படத்தின்படி P-யிலிருந்து செல்லும் ஒளியானது, M_1, M_2' இவற்றில் θ கோண அளவில் அடையும் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர், P_1, P_2 இவற்றினின்று பரவுவது போல் தோன்றுகின்றன. இவை ஒரியல் தன்மை கொண்ட இணைக்கதிர்கள். கண் அமையும் ஏதாவது ஒரு தளத்தில் குத்தாக விழும் கதிர்களுக் கிடைப்பட்ட பாதை வேறுபாடு '$2t \cos\theta$' ஆகும்.

இந்த இணைக் கதிர்கள் தெளிவுப்பார்வைக்குச் சரிசெய்யப்பட்ட கண்ணின் மீது படும்பொழுது குறுக்கீட்டு வரிகள் தெரியும். பொலிவுமிக்க வரியொன்றுக்கு இந்த பாதை வேறுபாடு $2t \cos\theta = n\lambda$ ஆகும். இங்கு n என்பது வரிகளின் வரிசை எண் (order) ஆகும். குறிப்பிட்ட வரியொன்றிற்கு அலைநீளம் λ தடிமம் t, கோணம் θ எல்லாம் மாறிலிகள். ஆகையால், ஏற்படும் வரிகள் ஒருமைய வட்டங்களாகும். ஆடிகள் M_1, M_2' இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக அமையாவிடில் M_1,M_2' இரண்டும் இணையாக இருக்க முடியாது. எனவே, அவைகளுக் கிடைப்பட்ட காற்றுப்படலம் ஆப்பு வடிவில் அமையும். எனவே, M_1, M_2' இரண்டும் வெட்டிக்கொள்ளும் நேர்கோட்டிற்கு இணையான நேர்கோட்டு வரிகள் உண்டாகும்.

(h) பயன்கள்

(i) அலைநீளம் தீர்மானித்தல்

அலைநீளம் λ காணவேண்டிய ஒற்றை நிற ஒளிகொண்டு குறுக்கீட்டுமானி சரிசெய்யப்பட்டு வட்டவரிப்பாங்கம் உண்டாக்கப்படல் வேண்டும். ஆடி M_2 நிலையாக வைக்கப்பட்டு, ஆடி M_1 ஆனது மெதுவாக நகர்த்தப்படுகின்றது. அப்பொழுது பார்வைப் புலத்தில் குறிப்பிட்டதொரு புள்ளியை ஆதாரமாகக் கொண்டு, அதனைக் கடந்துச் செல்லும் வரிகளின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடல் வேண்டும். ஆடி M_1 ஆனது, $\frac{\lambda}{2}$ தூரம் நகர்ந்தால், குறுக்கீட்டுமானியில் ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு λ ஆகும். எனவே, ஒரு வரி ஆதாரப்புள்ளியை கடந்து செல்லும். அதாவது, ஒரு பொலிவு வரியின் நிலைக்கு அடுத்த பொலிவு வரி வரும் எனவே, ஆடி M_1 ஆனது நகர்ந்த தொலைவு d எனில், ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $2d$ ஆகும். இந்தத் தொலைவு நகரும்பொழுது

n வரிகள் ஆதாரப் புள்ளியைக் கடந்து சென்றால்,

$$2d = n\lambda \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது, } \lambda = \frac{2d}{n} \qquad \text{——— 1.}$$

ஆகும்.

(ii) மென் படலங்களின் விலகலெண் காணல்

குறுக்கீட்டு மானியில் ஆடி M_1-க்குச் செல்லும் கதிரின் பாதையில் t அளவு தடிமம் கொண்ட ஒளிபுகும் மென்படலத்தை வைப்பதால் குறுக்கீட்டு விளைவில் பங்கு பெறும் கதிர்களுக் கிடையே $2(\mu-1)t$ அளவு பாதை வேறுபாடு உண்டாக்கப் படுகிறது. n வரிகள் ஆதாரப் புள்ளியைக் கடப்பதாகக் கொண்டால்,

$$2(\mu-1)\, t = n\lambda \qquad \text{——— 1.}$$

ஆகும்.

இங்கு n, λ, t ஆகியவைத் தெரிந்தால் μ-வைக் கணக்கிட முடியும்.

ஒற்றை நிற ஒளியைக் கொண்டு ஆய்வினைச் செய்து பார்வைப் புலத்தில் குறுக்குக் கம்பிகளைக் கடக்கும் வரிகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடல் கடினம். ஒற்றை நிற வரிகள் அனைத்தும் ஒன்றினைப் போன்றே மற்றதும் இருப்பதால் வரிகளை கணக்கிட இயலாது. அதற்காக முதலில் வெள்ளொளிக் கொண்டு வரிகளை ஏற்படுத்தி, மைய இருள் வரியுடன் தொலை நோக்கியின் குத்துக் குறுக்குக் கம்பி பொருந்துமாறு வைத்துக் கொண்டு, OM_1-ன் கதிரின் பாதையில் மென்படலத்தை வைக்க வேண்டும். இப்பொழுது மையவரி இடப்பெயர்ச்சி அடையும். மீண்டும் மையவரியை குறுக்குக் கம்பியுடன் இணையச் செய்ய, நகரும் தூரத்தைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ள வேண்டும். இப்பொழுது, வெள்ளொளிக்குப் பதிலாக ஒற்றை நிற ஒளியைக் கொண்டு வரிகளை உண்டாக்கி, அதே தொலைவு M_1 நகரும் பொழுது கடக்கும் ஒற்றை நிற வரிகளை தீர்மானித்தால் அதுதான் n ஆகும். இவ்வாறு n-ஐ தீர்மானித்து,

$$\mu = 1 + \frac{n\lambda}{2t} \qquad \text{——— 2,}$$

என்னும் சமன்பாட்டின் மூலம் μ-வைக் கணக்கிடலாம்.

(iii) இரண்டு நெருங்கியமைந்த நிறமாலை வரிகளுக்கிடைப்பட்ட அலை நீள வேறுபாட்டைக் கணக்கிடல்

சோடியம் ஆவி விளக்கினுக்கு பார்வைப் பகுதியில் D_1, D_2 என்னும் இரண்டு நெருங்கியமைந்த வரிகள் மட்டுமே உண்டு. இவைகளுகிடைப்பட்ட அலைநீள வேறுபாடு மிகக்குறைந்த அளவு ஆகும். இதனைத் தீர்மானிக்க, D_1 - ன் அலைநீளத்தை λ_1 என்றும், D_2- வின் அலை நீளத்தை λ_2 எனவும் கொள்வோம். மேலும், $\lambda_1 \neq \lambda_2$ ஆகும். இதனால் ஒவ்வொரு வரியும் மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டுமானியில் அவ்வவற்றின் வரிபாங்கத்தைக் கொடுக்கும். ஆடி M_1 - ஐ நகர்த்தி இந்த இரண்டு பொலிவு வரிப் பாங்கங் களும் ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்தி பொலிவுடன் இருக்கும்படிச் செய்ய வேண்டும். இந்நிலையைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். பின்னர், M_1 -ஐ மெதுவாக நகர்த்தினால் D_1, D_2 இவற்றின் அலை நீள வேறுபாட்டால் அந்த இரண்டு பாங்கங்களும் தனித் தனியாகப் பிரிந்து செல்லும். ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவு M_1 நகர்ந்த பின்னர், ஒன்றின் பொலிவு வரிகள் மற்றதின் இருள் பகுதியுடன் பொருந்துமாகையால், பார்வைப் புலத்தில வரிகளே இருக்காது. மீண்டும் M_1 -ஐ நகர்த்தினால், ஒன்றின் பொலிவுப் பகுதி மற்றதின் பொலிவுப் பகுதியுடன் பொருந்துமாறு செய்யலாம். வரிகளும் தெளிவாகத் தெரியும். இவ்வாறு ஒரு பொலிவு நிலையிலிருந்து மற்றொரு பொலிவு நிலைக்கு வரும் பொழுது, அதிக அலைநீளம் கொண்ட வரியின் n - ஆவது வரிசை குறைந்த அலை நீளம் கொண்ட வரியின் $(n+1)$ ஆவது வரிசை யுடன் பொருந்தும்.

மேற்கண்ட நிபந்தனையின்படி, ஆடி M_1 ஆனது d தொலைவு நகரும் பொழுது அடுத்தடுத்த பெருமப் புள்ளிகள் ஒன்றிய நிலை உண்டாகிறது. அப்பொழுது, பார்வைப் புலத்தின் மையத்தில் ஒவ்வொரு நிறமாலை வரிக்கான பாங்கங்கள் ஏற் படுத்தும் வரிசை எண்களை முறையே n_1, n_2 எனக் கொள்வோம்.

இதனால் $2d = n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$ ——— 1.

λ_1 ஆனது, λ_2-வை விட நீளமான அலை நீளம் கொண்டதெனில்

$$n_2 = n_1 + 1$$

ஆகவே, சமன்பாடு 1-ன்படி

$$2d = n_1 \lambda_1 = (n_1 + 1)\lambda_2 \quad \text{——— 2.}$$

எனவே, $n_1\lambda_1 = n_1\lambda_2 + \lambda_2$

அல்லது, $n_1 (\lambda_1 - \lambda_2) = \lambda_2$

$$\therefore \quad n_1 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \qquad \text{—— 3.}$$

சமன்பாடு 2-இல், n_1-ன் இந்த மதிப்பை பதிலீடு செய்ய

$$2d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

$$\text{அல்லது, } \lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2d} \qquad \text{—— 4.}$$

λ என்னும் மதிப்பை λ_1, λ_2 இவற்றின் சராசரியாகக் கொண்டா. ,

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda^2}{2d} \qquad \text{—— 5.}$$

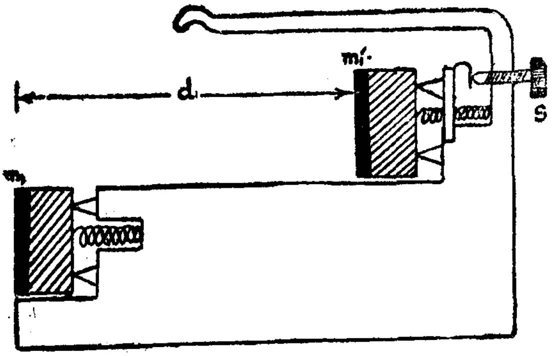
இதனின்று, அலை நீள வேறுபாடு $\lambda_1 - \lambda_2$ - வைக் கணக்கிடலாம். ஆய்வின் பொழுது ஐந்து அல்லது பத்து முறை பெருமப் பொலிவுகள் தெளிவுபட தெரியும் நிலைக்கு M_1 நகரும் தொலைவு கணக்கிடப்பட்டு அதனின்று சராசரி d மதிப்பு கணக்கிடப்படும்.

(iv) மீட்டர் அளவுகோலை ஒற்றைநிற ஒளியின் அலைநீளம் கொண்டு படித்தரமாக்குதல்

1895 - ஆம் ஆண்டு மைக்கேல்சன், பென்னோட் (Benoit) இருவரும் இக்குறுக்கீட்டுமானியைக் கொண்டு, காட்மியம் நிற மாலையில் உள்ள 6438 ஆ . அ . அலை நீளம் கொண்ட சிகப்பு வரியின் எத்துணை அலைநீளங்கள் 1 மீட்டரில் அடங்கும் என்று கணக்கிட்டனர். இதற்கு படம் 17.3 - இல் உள்ளவாறு மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டுமானியைப் பயன்படுத்த இயலாது. ஏனென்றால், மீட்டர் அளவுகோலின் ஒரு இடுகுறிப் புள்ளி நிலையிலிருந்து மற்ற புள்ளி வரை, ஆடி M_1 -ஐ நகர்த்தி குறுக்கீட்டுப் பாங்கத்தில் கடக்கும் வரிகளை எண்ண முடியாது. அதிக அளவு பாதை வேறுபாடு உண்டாகும்போது, வரிபாங்கமே இருக்காது. மேலும், அப்படியே வரிப்பாங்கம் இருப்பதாகக் கொண்டாலும், பார்வைப் புலத்தில் ஆதாரப் புள்ளியைக் கடக்கும் மிக அதிக மான எண்ணிக்கை வரிகளை எண்ணுதலும் கடினமாகும்.

இந்த இரு இடையூறுகளையும் தவிர்ப்பதற்கு மைக்கேல்சன் எட்டலான் (Etalon) எனப்படும் இடைப்படித் தரங்களை

அமைத்தார். எட்டலான் ஒன்றின் அமைப்பு படம் 17.7-இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. எட்டலானில் மிகச் சிறியதை I எனக் குறிப்பிட்டால் அது 10×2^{-10} மீட்டர் அல்லது 0.0001 செ.மீ நீளம் கொண்டதாக இருக்கும். அடுத்த பெரியது 10×2^{-9} மீ; அதற்கும் அடுத்த பெரியது 10×2^{-8} மீட்டர்; இவ்வாறு கடைசி ஒன்பதாவது பெரிய எட்டலான் 10×10^{-2} மீட்டர் (10செ.மீ) நீளம் கொண்டதாக இருக்கும்.



படம் 17.7

எட்டலான் படம் 17.7-இல் உள்ளவாறு m_1, m_1' என்னும் இரண்டு ஒளியியல் வகை தட்டை ஆடிகளைக் கொண்டது ஆகும். இவ்வாடிகள் ஒரு கனத்த செப்புக் கட்டையின் முகப்புகளில், ஒன்று மேல்தளத்திலும், மற்றது கீழ்த் தளத்திலுமாக அமைக்கப் பட்டுள்ளன. இரண்டு ஆடிகளின் முன் பரப்புகளும் நன்கு ரசம் பூசப்பட்டுள்ளன. இவை இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்கும்படிச் செய்ய வில்திருகு (Spring and screw) அமைவுகள் உள்ளன. இரண்டு எதிரொளிக்கும் பரப்புகளுக் கிடைப்பட்ட தொலைவு,

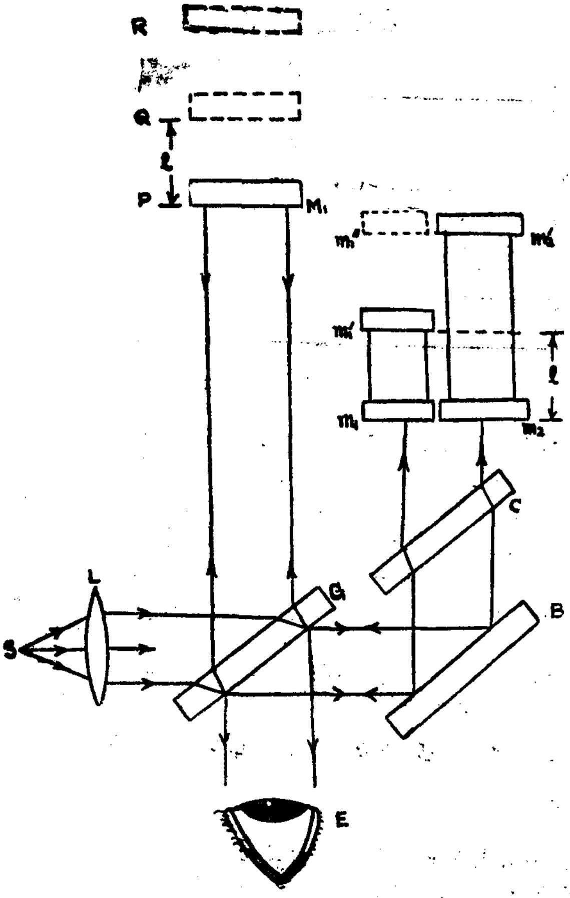
$$d=10\times2^{-10} \text{ மீட்டர் முதல் } 10\times2^{-1} \text{ மீட்டர்}$$

வரை ஆகும்.

எட்டலான்களின் உதவியால் மீட்டரில் அடங்கும் காட்மியம் சிகப்பு வரியின் அலை நீளங்களின் எண்ணிக்கையை நிர்மானிப் பதற்கு மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டுமானி படம் 17.8 இல் உள்ளவாறு மாற்றியமைக்கப்பட்டது. இந்த அமைப்பின்படி M_2-வை M_1-க்கு இணையாக நகர்த்த இயலும். இதற்கு முன்பக்கம் ரசம் பூசப்பட்ட ஆடி 3 பயன்படுத்தப்படுகின்றது இங்கு

C-யானது ஈடு செய்யும் கண்ணாடித் தகடாகும். இவ்வாறு மாற்றியமைத்த பிறகு, ஆய்வில் M_2 இருந்த இடத்தில் எட்டலான்களின் ஆடிகள் இடம் பெறும். இப்பொழுது ஆய்வினை மூன்று பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம்.

1. மிகக் குறைந்த நீளம் கொண்ட எட்டலான்-I (0.0391 செ. மீ. எட்டலான்) நீளத்தில் அடங்கும் ஒளியலைகளின் எண்ணிக்கையைத் துல்லியமாகத் தீர்மானித்தல்.



படம் 17.8

2. இடைநிலையில் உள்ள மற்ற மற்ற எட்டலான்களை ஒன்றுடன் ஒன்று ஒப்பிடுதல். அதாவது, மிகச் சிறிய எட்டலானுடன் அடுத்தப் பெரிய எட்டலானை ஒப்பிட்டு அதிலடங்கும்

வரிகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுதல். இவ்வாறு 9-வது (10 செ. மீ.) எட்டலானில் அடங்கும் ஒற்றை நிற ஒளியலைகளின் எண்ணிக்கையைத் தீர்மானித்தல்.

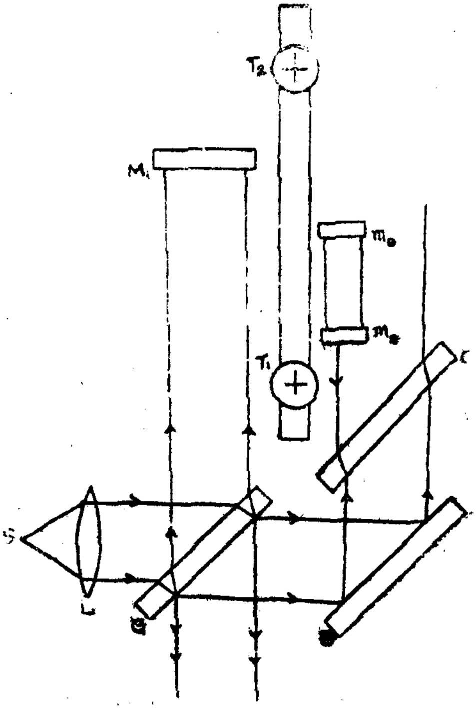
3. இறுதியாக எட்டலான்களின் பெரியதாகிய 10 செ. மீ. எட்டலானை மீட்டருடன் ஒப்பிட்டு அலைநீளங்களின் எண்ணிக்கையைத் தீர்மானித்தல்.

எட்டலான் ஒன்றில் அடங்கும் அலை நீளங்களின் எண்ணிக்கையைத் தீர்மானிக்க படம் 17.8-ல் உள்ளவாறு மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டுமானி மாற்றியமைக்கப்பட்டது. ஆடி M_2-வை நோக்கிச் செல்லும் கதிரானது, ஆடி B-யினால் 90° கோணம் சுழற்றப் படுகிறது. ஈடுசெய்வி C-யும் படத்தில் உள்ளவாறு அமைக்கப் படுகின்றது. M_2க்குப் பதிலாக 1-வது, 2-வது எட்டலான்களின் முன்பக்க ஆடிகள் m_1, m_1 இடம் பெறுகின்றன. பார்வைப்புலத்தில் m_1, m_1, m_2, m_2 ஆகிய நான்கு ஆடிகளும் இடம்பெறும்.

வெள்ளொளியைப் பயன்படுத்தி ஆடி M_1 மற்றும் m_1, m_2 ஆகிய மூன்று ஆடிகளையும் கண்ணிலிருந்து சமதொலைவில் இருக்குமாறு செய்வதுடன், m_1, m_2 இரண்டும் ஒரு தளத்தில் இருக்கும்படி செய்யப்படுகின்றன. பின்னர், வெள்ளொளிக்குப் பதிலாக காட்மியம் சிகப்பு ஒளி வைக்கப்பட்டு, ஆடி M_1 ஆனது P நிலையிலிருந்து Q நிலைக்கு மெதுவாக நகர்த்தப்படுகின்றது. இந்த சமயத்தில் குறுக்குக் கம்பிகளை கடக்கும் வரிகளை சரியாக எண்ணிக்கொள்ள வேண்டும். M_1 ஆனது Q-வை அடையும்வரை எண்ணிக்கையைத் தொடர வேண்டும். இப்பொழுது ஆடி M_1 ஆனது முதல் எட்டலானின் மேல் நிலையிலுள்ள m_1'-க்குச் சமதளமாக அமைகின்றது. சமதளமாக உள்ளதா இல்லையா என்பதனை வெள்ளொளி வரிகள் தோன்றுதல் மூலம் அறிய வேண்டும். பாதை நீளம் சமமாக இருந்தால்தான் வெள்ளொளி வரிகள் தோன்றும். எனவே, ஆடி M_1-ம் சிறிய எட்டலானின் மேல்தள ஆடி m_1'-ம் சம தொலைவில் இருந்தால் வெள்ளொளி வரிகள் தோன்றும். இல்லாவிடில், மேலும் சரிசெய்து இந்நிலையை அடையலாம். ஆக $m_1 m_1'$ தொலைவான $d = 10 \times 2^{-10}$ மீட்டரில் அடங்கும் அலைநீளங்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடலாம்.

பிறகு, சிறிய முதல் எட்டலானை அதன் நீளத்திற்குச் சமமான தொலைவு நகர்த்தி, அதன் மேல் நிலை ஆடி m_1' இருந்த நிலைக்கு m_1 வரும்படி செய்ய வேண்டும். M_1 அடியானது Q-வில் இருப்பதனால், மீண்டும் M_1, m_1 இரண்டும் சமதொலைவில்

இருக்கும். எனவே, வெள்ளொளி வரிகள் தோன்றும். இப்பொழுது வெள்ளொளிக்குப் பதிலாக ஒற்றை நிற ஒளிகொண்டு வரிப்பாங்கத்தை உண்டாக்க வேண்டும். ஆடி M_1-ஐ அது R நிலைக்கு வரும் வரை நகர்த்திக்கொண்டு குறுக்குக் கம்பியைக் கடக்கும் வரிகளை எண்ணிக் கொள்ள வேண்டும். R நிலைக்கு வந்தவுடன் M_1 ஆனது ஆடிகள் m_1', m_2' இரண்டுடனும் ஒரே தளத்தில் அமையும். இப்பொழுது, m_2 m_2', m_1 m_1' போன்று சரியாக இரண்டு மடங்கு இல்லாவிடில் மேலும் சில காட்டிய வரிகள் m_2 m_2' தொலைவில் கொள்ளலாம். இதற்கு, m_2-'வுடன் M_1 ஒரே தளத்தில் அமையும் வரை M_1-ஐ நகர்த்தும்பொழுது குறுக்குக கம்பியை கடக்கும் வரிகளை m_1 m_1'-இல் அடங்கும் வரிகளின் இரண்டு மடங்குடன் கூட்டிக் கொள்ள வேண்டும். M_1-ம், m_2-ம் ஒரே தளத்தில் அமையும் நிலையை அடைந்தனவா என்பதை அவ்வப்போது வெள்ளொளி வரிகள் தோற்றுவித்ததினால் அறியலாம்.



படம் 17.9

பின்னர், மூன்றாவது எட்டலானை இரண்டாவது எட்டலானுடன் ஒப்பிட்டு, மூன்றாவது எட்டலானில் அடங்கும் ஒளியலைகளின் எண்ணிக்கையைக் கணித்தல் வேண்டும். இதேபோன்று 10 செ.மீ. எட்டலானில் அடங்கும் வரிகளின் எண்ணிக்கை வரை கணக்கிட இயலும்.

இறுதியாக, 10 செ.மீ. எட்டலான் படம் 17.9-இல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு மீட்டருடன் ஒப்பிடப்படுகின்றது. 9-வது எட்டலான மீட்டர் கோலுக்கு அருகிலேயே உள்ள ஊர்தி அமைவின் மேல் வைக்கப்படுகின்றது. மீட்டர் அளவுகோலின் இரு பக்கத்திலும் உள்ள இறுதிப் புள்ளிகளைக் காணுமாறு இரண்டு தொலைநோக்கிகள் அமைக்கப்படுகின்றன. 10 செ.மீ. எட்டலானுடன் இணைக்கப்பட்டு நுணுக்கி T_1-ன் பார்வைப்புலத்தில் உள்ள குறிமுள்ளும் அமைக்கப்படுகின்றது.

குறிமுள் மீட்டரின் ஒருமுனை ஆதாரப் புள்ளியுடன் பொருந்தும் நிலையில் ஆடி M_1-க்கும் m_9'-க்குமிடையே வெள்ளொளி வரிகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. பின்னர், 9-வது எட்டலானை அதன் நீளத்திற்குச் சமமான தொலைவு நகர்த்த, M_1-ம், m_9-ம் சமதளத்தில் அமைகின்றன. மீண்டும் M_1 ஆனது, m_9' உடன் வெள்ளொளி வரிகள் ஏற்படுத்துமாறு நகர்த்தப்படுகின்றது. பின்னர் 9-வது எட்டலானை நகர்த்தி, m_9 உடன் M_1 சமதொலைவு கொள்ளும்பொழுது வெள்ளொளி வரிகள் உண்டாகின்றன. இவ்வாறு மீட்டரின் மறுமுனை வரும்வரை எட்டலானும் ஆடி M_1-ம் மாற்றி மாற்றி நகர்த்தப்படுகின்றன. இதனால் $m_9 m_9'$-தொலைவு அளவு எத்தனை மடங்கு மீட்டர் அளவுகோலில் உள்ளது என்பதனைக் கணித்து விடலாம். இறுதியாக, குறிமுள் இரண்டாவது தொலைநோக்கியில் பொருந்தியுள்ள மீட்டர் கோலின் மறுமுனைப் புள்ளியுடன் பொருந்தும்வரை இருக்கும் சில அலை நீளங்களையும் கணக்கிடலாம்.

இவ்வாறு ஒரு மீட்டர் நீளத்தில் அடங்கும் ஒற்றை நிற ஒளியின் அலை நீளத்தினைக் கொண்டு மீட்டரைப் படித்தரமாக்கலாம்.

காற்றில் 15°C, 760 m.m. அழுத்தத்தில் ஒரு மீட்டரானது காட்மியம் சிவப்பு ஒளியினது 15, 53, 163.5 அலைநீளங்களும், 19, 66, 249.7 காட்மிய பச்சை அலைநீளங்களும் கொண்டது எனக் கணக்கிடப்பட்டு மீட்டர் அளவுகோல் படித்தரமாக்கப்பட்டுள்ளது.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. ஜாமின் விலகலெண்மானியில் பயன்படும் குழாயின் நீளம் 0.2 மீட்டர். வளி அழுத்தத்தில் ஒரு வாயுவானது குழாய் ஒன்றில் நிரப்பப்படும்பொழுது, தொலைநோக்கியின் குறுக்குக் கம்பியை 60 வரிகள் கடந்து செல்கின்றன. கொடுக்கப்பட்ட அழுத்தம் வெப்பநிலைகளில் வாயுவின் விலகல் எண்ணைக் கணக்கிடுக. பயன்படும் ஒளியின் அலை நீளம் 5893×10^{-10} மீட்டர்.

பயன்படுத்த வேண்டிய சமன்பாடு.

$$(\mu - 1)\, t = n\lambda$$

t - என்பது குழாயின் நீளம்.

$$\lambda = 5893 \times 10^{-10} \text{ மீட்டர்.}$$

$$n = 60$$

$$\therefore\ (\mu - 1) \times 0.2 = 60 \times 5893 \times 10^{-10} \text{ மீட்டர்.}$$

$$(\mu - 1) = 0.0001768$$

$$\mu = 1 + 0.0001768$$

$$= 1.0001768$$

2. மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டு விளைவுமானியில் நகரும் ஆடியை 5.89×10^{-5} மீட்டர் நகர்த்தும்பொழுது 200 வரிகள் இடப்பெயர்ச்சி அடைகின்றன. பயன்படு ஒளியின் அலைநீளம் என்ன ?

சமன்பாடு, $2d = n\lambda$

d = ஆடி நகர்த்தப்படும் தொலைவு

$= 5.89 \times 10^{-5}$ மீட்டர்

$n = 200$

$$\therefore\ \lambda = \frac{2 \times 5.89 \times 10^{-5}}{200}$$

$$= 5890 \times 10^{-5} \text{ மீட்டர்.}$$

3. மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டுமானி ஆய்வொன்றில் அடுத்தடுத்த தெளிவுப் பெருமங்களுக்கான அளவீடுகள் 0.693×10^{-4} மீட்டர், 0.9884×10^{-4} மீட்டர் ஆகும். இரண்டு அலைநீளங்களுக்கான சராசரி அளவு 589×10^{-10} மீட்டர். இரண்டு அலைநீளங்களுக்கும் இடைப்பட்ட அலைநீள வேறுபாட்டைக் கணக்கிடுக.

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2d}$$ என்பது சமன்பாடு.

$$= \frac{\lambda^2}{2d}$$

கணக்கின்படி, $d = (0.9884\times10^{-4} - 0.6939\times10^{-4})$

$= 0.2945\times10^{-4}$ மீட்டர்

$$\therefore \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{(5893\times10^{-10})^2}{2\times0.2945\times10^{-4}}$$

$= 5.896\times10^{-10}$ மீட்டர்

4. மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டுமானியில் வரிகளை தோற்றுவிக்கும் இரண்டு கற்றைகளில் ஒன்றின் பாதையில் ஒளி ஊடுருவும் மென் தகடொன்று வைக்கப்படுகின்றது. இதனால் 50 வரிகள் இடப்பெயர்ச்சி அடைகின்றன. பயன்படும் ஒளியின் அலைநீளம் 5896×10^{-10} மீட்டர். மென்தகட்டின் ஒளிவிலகல் எண் $\mu = 1.4$ எனில், தகட்டின் தடிமத்தைக் கணக்கிடுக.

மென்தகட்டினை வைப்பதினால் உண்டாகும் கூடுதல் பாதை வேறுபாடு $2(\mu-1)t$; n வரிகள் இடப்பெயர்ச்சி அடைந்தால்,

$2(\mu-1)t = n\lambda$

$\mu = 1.4$

$\lambda = 5896\times10^{-10}$ மீட்டர்

$n = 50$

$\therefore 2(1.4-1)t = 50\times5896\times10^{-10}$

$$t = \frac{50\times5896\times10^{-10}}{2\times0.4}$$

$= 3.68\times10^{-5}$ மீட்டர்.

வினாக்கள்

1. ஜாமின் விலகலெண்மானியைக் கொண்டு வாயுவொன்றின் விலகல் எண் காணுதலை கொள்கையுடன் விளக்குக.

2. ராலே விலகலெண்மானியைக் கொண்டு ஆர்கான் வாயுவின் விலகல் எண் காணுதலை கொள்கையுடன் விளக்குக.

3. மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டு மானியின் அமைப்பை விளக்குக. பயன்படும் ஒளியானது சோடியம் ஆவி விளக்கில் கிடைக்கும் D-வரிகள் எனில், அவற்றிற்கிடைப்பட்ட அலைநீள வேறுபாட்டைக் கணக்கிடுதலை விளக்குக.

4. மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டுமானியின் ஒளியியல் பகுதிகளை விவரிக்க. பங்குபெறும் ஒளிப்பாதைகளின் ஒன்றில் ஒளிபுகும் மென்தகடு வைக்கப்பட்டால், அதன் தடிமத்தைக் காணும் முறையை விளக்குக.

5. மைக்கேல்சன் குறுக்கீட்டுமானியின் அமைப்பை விவரிக்க இதனை மாற்றியமைத்து மீட்டர் அளவுகோல் ஒன்றினை, ஒற்றை நிற ஒளி ஒன்றின் அலைநீளத்தினைக் கொண்டு படித்தரம் செய்தலை விளக்குக.

18. விளிம்பு விளைவு

அலைகள் அவை செல்லும் பாதைகளில் உள்ள தடைகளை நெருங்கும் பொழுது வளைந்து செல்லுதல் தெளிவான ஒன்று. ஒலி (Sound) அலைகள் சாதாரண பரிமாணங்கள் கொண்ட தடைகளை எளிதில் சுற்றி வளைந்து செல்கின்றன. இவ்வாறு வளையும் தன்மை தடையின் பரிமாணங்களையும், அலையின் அலை நீளத்தையும் பொறுத்தது ஆகும்.

ஒளியும் ஒலியினைப் போன்று அலைவடிவில் பரவுகின்றது என்றால், தடைகளைக்கடக்கும்பொழுது வளைந்து செல்லவேண்டும். தடைகளுக்கான தெளிவான நிழலை உண்டாக்கக் கூடாது. ஆனால், சாதாரணமாகப் பார்க்கும்பொழுது ஒளி தெளிவான நிழல்களை உண்டாக்குவதாகத் தோன்றுகின்றது. இதனால் ஒளியானது நேர்கோட்டில் பரவுகின்றது எனலாம். இது அலைக் கொள்கைக்கு முரணாக உள்ளது. எனவே, துகள் கொள்கைக்கு சாதகமாக அமைகின்றது. அலைக் கொள்கையினை ஏற்றுக் கொள்ள வேண்டுமெனில், ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவல் இக்கொள்கை மூலம் தெளிவாக விளக்கப் பட வேண்டும். அதே நேரத்தில் ஒளியின் பாதையில் வைக்கப்படும் தடைகளுக்கு பின்னால் அமையும் பகுதிகளில் ஒளி வளைவதை, சிறந்த சோதனைகள் மூலம் நிருபிக்க வேண்டும்.

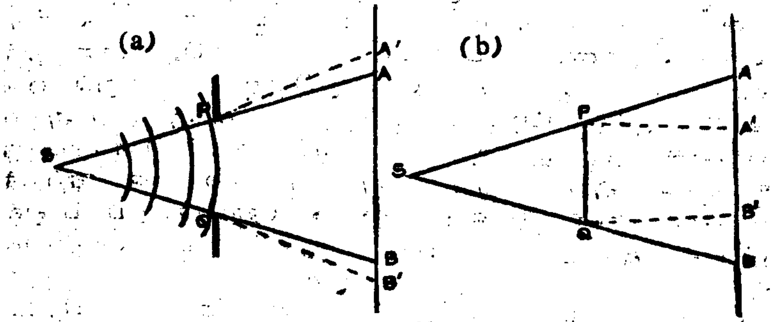
ஃபிரனெல் 1815 - ம் ஆண்டு ஹாய்ஜனின் கொள்கையினைக் கொண்டு, ஒளியின் பாதைகளில் வைக்கப்படும் தடைகளைச் சுற்றி ஒளியானது வளைகின்றது என்று ஆய்வுகள் மூலம் காட்டினார். ஒளியினுக்கு மிகக் குறைந்த அலை நீளம் இருக்கின்ற காரணத்தால் ஒளியானது வளையும் அளவும் மிகக் குறைவானது. எனவே, கவனத்துடன் பார்த்தாலன்றி, வளைதலை அறிய முடியாது என்றும் கண்டார். ஒளிப்பாதையில் அமையும் சாதாரணத் தடைகள் அதன் அலைநீளத்தைப் போன்று பல

ஆயிரம் மடங்கு பெரியவைகளாக இருக்கின்ற காரணத்தால் விளைவும் அளவு மிகக் குறைவாக உள்ளது. எனவே, அது நேர் கோட்டில் பரவுவதாகத் தோன்றுகின்றது.

ஒளியானது அதன் பாதையில் வைக்கப்படும் தடைகளின் மூலைகளில் வளைதல் அல்லது தடைகளின் வடிவியல் அமைப்பின் படி ஏற்படும் நிழல்களின் உள்ளேயும் ஒளிபரவல் விளிம்பு விளைவு எனப்படும். மேலும், இவ்விளைவினால் மிகைப் பொலிவு வரிகளும் குறை பொலிவு வரிகளும் மாறி மாறி உண்டாகின்றன. இவ் வரிப் பாங்கம், விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் எனப்படும்.

தடைகளைக் கடந்துச் செல்லும் ஒளியின் அலைமுகப்பில் ஒரு பகுதி தடுத்து நிறுத்தப் பட்டாலே விளிம்பு விளைவு ஏற்படு கின்றது. விளிம்புகளில் வளைந்து செல்லும் ஒளி ஏற்படுத்தும் ஒளிக் குறுக்கீடுதான் விளிம்பு விளைவு ஆகும்.

அலைமுகப்பின் பரப்பு மிக அதிகமாக உள்ள ஒளியினைக் கொண்டு ஒளிக்குறுக்கீடு ஏற்படுத்தப் படுகின்றது. தடையை கடந்து பரவும் அலைமுகப்பில் கிடைக்கும் தொகுபயன் அலை முகப்பு மதிப்பை மட்டும் கொண்டு ஏற்படும் விளைவு விளிம்பு



படம் 18.1

விளைவு ஆகும். உதாரணமாக படம் 18.1 (a) - ல் ஒளி மூலம் லிருந்து பரவும் அலைமுகப்புகள் திறப்பு PQ வழியாகச் சென்றால், திரையின் மீது A,B புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட பகுதி யை மட்டுமே ஒளியூட்ட இயலும். ஆனால், A-க்கு மேலே A' வரையிலும், B-க்கு கீழே B' வரையிலும் நிழல் பகுதியிலும் ஒளி யூட்டம் காணப்படுகின்றது.

இதே போன்று படம் 18.1(b)-ல் PQ என்பது S-க்கு முன்னால் அமைந்துள்ள ஒளிபுகாத்தடுப்பு ஆகும். PQ-வுக்கான

நிழல் உண்மையில் திரையின்மீது AB அளவு இருக்க வேண்டும் ஆனால், AA' பகுதியும் BB' பகுதியும் ஒளியூட்டம் பெற்றிருப் பதைக் காணலாம்.

இந்த இரண்டு படங்களிலும் ஏற்படும் நிழலுக்குள்ளும் ஒளிப் பரவுதல் விளிம்பு விளைவினால் ஆகும்.

18.2. விளிம்பு விளைவு வகைகள்

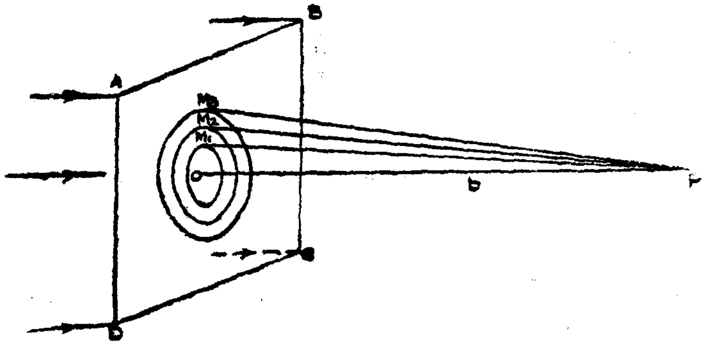
படும் அலைமுகப்பினை கட்டுப்படுத்துவதால் உண்டாகும் விளைவான விளிம்பு விளைவினை இரண்டு வகையாகப் பிரிக்கலாம். விளிம்பு விளைவை ஏற்படுத்தும் பொருளினின்று அறுதியிட்ட தொலைவினில் ஒளிமூலம் அல்லது திரை அல்லது இரண்டும் அமைந்திருந்தால் ஃப்பிரனல் வகை விளிம்பு விளைவு ஆகும். இந்த வகை விளைவில், படும் கோளக அல்லது உருளைவடிவ அலைமுகப்பு களிலிருந்து குறிப்பிடப்பட்ட தொலைவில் அமைந்துள்ள புள்ளி யினை நோக்கிச் செல்லும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் கருதப்படு கின்றன. வில்லைகளோ, ஆடிகளோ பயன்படுத்தப்படுவதில்லை.

அடுத்தவகை பிரான் ஹோபர் விளிம்பு விளைவு ஆகும். ஒளி மூலமும் திரையும் விளிம்பு விளைவை உண்டாக்கும் பொரு ளினின்று அறுதியிலா (Infinite) தொலைவில் அமைந்திருக்கும். இதனால் படும் தள அலைமுகப்பினின்று, தடை அல்லது திறப் பினைத் தாண்டி குறிப்பிட்ட திசையில் செல்லும் இரண்டாம் நிலை அலைகளை கருத வேண்டியுள்ளது. வில்லைகள் பயன்படுத்த படுகின்றன.

இந்த அத்தியாயத்தில் ஃப்பிரனல் வகை விளிம்பு விளைவினை முதலில் பார்ப்போம்.

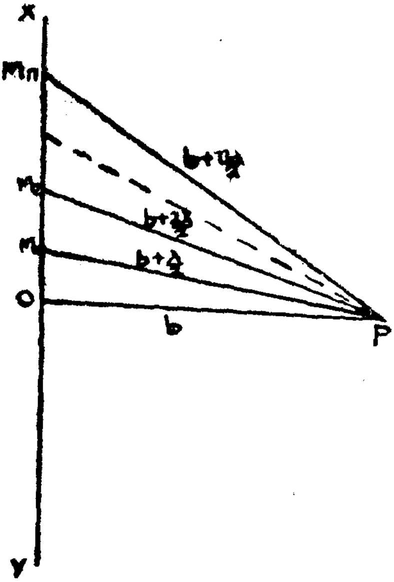
18.3. ஒளியின் நேர்க்கோட்டுப் பரவலுக்கு ஃப்பிரனல் விளக்கம்

ஒளியலைகள் பரவலுக்கு ஹாய்ஜன் கொடுத்த விளக்கம் பகுதி 14.10-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால், சாதாரணமாக பார்க்கும் ஒருவருக்கு ஒளியானது நேர்க்கோட்டில் பரவுவதாகப் புலப்படுகின்றது. எனவே, அலைக்கொள்கை மூலம் ஒளியின் நேர் கோட்டுப் பரவலுக்கு கொடுக்கும் விளக்கமே அதனை ஒப்புக் கொள்ள இயலுமாறு அமையும். இதனைப் ஃப்பிரனல் நுட்பமிகு முறையொன்றினால் விளக்கினார்.



படம் 18.2

இதற்கு படம் 18.2-ல் உள்ளவாறு தள அலைமுகப்பு $ABCD$ ஆனது இடபக்கமிருந்து வலபக்கம் பரவுவதாகக் கொள்வோம். P என்னும் புள்ளியிலிருந்து, அலைமுகப்பு குறிப்பிட்ட தொலைவு b-யில் இருக்கும்பொழுது, P-யில் அலைமுகப்பினால் உண்டாகும் ஒளிச்செறிவினைக் கணக்கிடுவதன் மூலம், ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவலுக்கு அலைக்கொள்கைமூலம் ஃபிரனல் விளக்கம் கொடுத்தார். அலைமுகப்பை அரை அலைவு மண்டிலங்கள் (Half period zones) எனப்படும் சிறு சிறு பகுதிகளாகப் பிரித்து, ஒவ்வொன்றும் P-யில் ஏற்படுத்தும் செறிவினைக் கணக்கிடுவதன் மூலம், தொகுபயன் செறிவினைக் கண்டார். மண்டிலங்கள் அமைப்பு முறைப்படி, புள்ளி P-யிலிருந்து ஒவ்வொரு மண்டிலமும் $\frac{\lambda}{2}$ தொலைவு வேறுபாட்டில் அமைவதினால், அலையானது $\frac{\lambda}{2}$ தொலைவு கடப்பதற்கு ஆகும் அலைவு நேரம் $\frac{T}{2}$ கொண்டு அரை அலைவு மண்டிலங்கள் எனப்படுகின்றன.



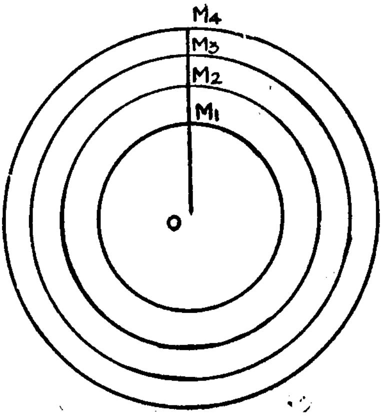
படம் 18.3

(a) அரை அலைவு மண்டிலங்கள்

படம் 18.3-ல் XY என்பது படும் தள அலைமுகப்பைக்

குறிக்கட்டும். அலைமுகப்பானது இடப் பக்கமிருந்து வலப் பக்கமாகப் பரவுவதாகக் கொள்வோம். இவ் வலைமுகப்பு P-ல் ஏற்படுத்தும் விளைவினைக் கருதவேண்டும்.

PO என்பது P-யிலிருந்து அலைமுகப்பிற்கு வரையப்பட்ட குத்துக்கோடாகும். $PO = b$ எனக் கொள்வோம். அலைமுகப்பைப அரை அலைவு மண்டிலங்களாகப் பிரிக்க P-யை மையமாகவும், $(b+\frac{\lambda}{2})$, $(b+\frac{2\lambda}{2})$, $(b+\frac{3\lambda}{2})$, …… – …$(b+\frac{n\lambda}{2})$ என்னும் நீளங்களை ஆரங்களாகவும் கொண்ட கோளங்களை வரையவும். இக் கோளங்கள் அலைமுகப்பு XY-ஐத் தொடர் ஒருமைய வட்டங்களில் வெட்டும். இதனல் XY-ன் மீது படம் 18.4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு வட்டங்கள் அமையும். OM_1 முதல் வட்டத்தின் ஆரத்தையும், OM_2 இரண்டாவது வட்டத்தின் ஆரத்தையும், OM_n n ஆவது வட்ட ஆரத்தினையும் குறிக்கும் OM_1-ஐ ஆரமாகக் கொண்டு அமைந்துள்ள வட்டத்தின் பரப்பு முதல் அரை அலைவு மண்டிலம் ஆகும். முதல் வட்டத்திற்கும் இரண்டாவது வட்டத்திற்கும் இடைப்பட்ட பரப்பு, இரண்டாவது அரை அலைவு மண்டிலம் ஆகும். இவ்வாறே n ஆவது வட்டத்திற்கும் $(n-1)$ ஆவது வட்டத்திற்கும் இடைப்பட்ட பரப்பு n ஆவது அரை அலைவு மண்டிலம் ஆகும். இப்படிப் பிரிக்கப்பட்ட தள அலை முகப்பின் பகுதிகள் ஃபிரனல் அரை அலைவு மண்டிலங்கள் எனப்படும்.



படம் 18.4

(b) அரை அலைவு மண்டிலத்தின் பரப்பு

அரை அலைவு மண்டிலம் n-ன் ஆரத்தினை $OM_n = r_n$ எனக் கொள்வோம். எனவே, படம் 18.3-லிருந்து,

$$\left[b+\frac{n\lambda}{2}\right]^2 - b^2 = r_n^2 \qquad \text{——— (1)}$$

என்பது தெரியும். அல்லது,

$$r_n^2 = b^2 + 2b\frac{n\lambda}{2} + \frac{n^2\lambda^2}{4} - b^2$$

$$= bn\lambda \qquad \text{——— (2)}$$

[$\frac{n^2\lambda^2}{4}$ மிகக் குறைந்த மதிப்பு; எனவே விட்டுவிடலாம்]

இதேபோன்று,

$$r^2_{n-1} = b\,(n-1)\,\lambda \qquad \text{——— (3)}$$

ஆகும். n ஆவது அரை அலைவு மண்டிலத்தின் பரப்பினைக் காண n ஆவது வட்டத்தின் பரப்பிலிருந்து $(n-1)$ ஆவது வட்டத்தின் பரப்பினைக் கழித்தல் வேண்டும். இதன்படி,

$$\pi r_n^2 - \pi r^2_{n-1} = \pi bn\lambda - \pi b\,(n-1)\,\lambda$$

$$= \pi bn\lambda - [\pi bn\lambda - \pi b\lambda]$$

$$= \pi b\lambda \qquad \text{——— (4)}$$

இதேபோன்று, எந்த இரண்டு அடுத்தடுத்த வட்டங்களுக்கும் இடையே அமையும் பரப்பு $\pi b\lambda$ எனக் காட்டலாம். எனவே, ஃபிரனல் அரை அலைவு மண்டிலங்கள் எல்லாம் சமபரப்புக் கொண்டவை என்பது தெளிவு.

(c) அரை அலைவு மண்டிலங்களின் கட்டம்

எல்லா அரை அலைவு மண்டிலங்களும் சமபரப்புக் கொண்டுள்ளமையால் சம எண்ணிக்கை கொண்ட அலைகளை அவை புள்ளி P-க்கு அனுப்பும். ஆனால், P-ஐ அடையும் எல்லா அலைகளும் சம கட்டம் (phase) கொண்டு இரா. முதல் அரை அலைவு மண்டிலத்தின் மையம் O-விலிருந்து P-யை அடைய ஆகும் காலத்தை அடிப்படையாகக்கொண்டு, இந்த அலையின் கட்டத்தைச் சுழியம் எனக் கொள்ளவும். முதல் அரை அலைவு மண்டிலத்தின் மேல் விளிம்புப் பகுதியில் அமையும் M_1 ஆனது, O-வைவிட π அளவு கட்டம் அதிகமாகக் கொண்டுள்ள அலையானது P-யை அடையும்படி செய்யும். எனவே, முதல் அரை அலைவு மண்டிலத்திலிருந்து P-யை அடையும் எல்லா அலைகளின்

சராசரிக் கட்ட வேறுபாடு $\left(\frac{0+\pi}{2}\right)=\frac{\pi}{2}$ ஆகும். இதன்படி, இரண்டாவது அரை அலைவு மண்டிலத்திலிருந்து செல்லும் எல்லா அலைகளின் சராசரிக் கட்ட வேறுபாடு $\frac{\pi+2\pi}{2}=\frac{3\pi}{2}$ ஆகும். இவ்வாறே, அடுத்தடுத்த அரை அலைவு மண்டிலங்களிலிருந்து செல்லும் அலைகளின் சராசரிக் கட்ட வேறுபாடு $\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \frac{7\pi}{2}$, ... என்று குறிக்கலாம்.

எனவே, முதல் மண்டிலத்திற்கும் இரண்டாவது மண்டிலத்திற்கும் ஆன கட்ட வேறுபாடு, $\frac{3\pi}{2}-\frac{\pi}{2}=\pi$; முதல் மண்டிலத்திற்கும் மூன்றாவது மண்டிலத்திற்கும் இடைப்பட்ட கட்ட வேறுபாடு $\frac{5\pi}{2}-\frac{\pi}{2}=2\pi$. கட்ட வேறுபாடுகள் π அளவு வேறுபடுதல் கட்டப் பொருத்தமில்லா நிலையாகும். இதனால் ஒன்றின் ஆக்கம் மற்றதனால் அழிக்கப்படும்.

இதேபோன்று, இரண்டாவது மண்டிலமும் மற்ற மண்டிலங்களுடன் கட்டப் பொருத்தமற்ற நிலையிலிருப்பதைக் காணலாம். எனவே, மைய மண்டிலத்தைப் பொறுத்து ஒன்றுவிட்ட மண்டிலங்கள் கட்டப் பொருத்தம் கொண்டும், அடுத்தடுத்த மண்டிலங்கள் கட்டப் பொருத்தம் இல்லாமலும் இருத்தல் தெளிவு.

(d) புள்ளி P-ல் அலை முகப்பினால் ஏற்படும் விளைவு

புள்ளி P-ல் ஏற்படும் தொகுபயன் விளைவானது

(i) அரை அலைவு மண்டிலங்களின் பரப்புகள்,

(ii) புள்ளி P-யை அடையும்பொழுது அமையும் கட்ட வேறுபாடு,

(iii) புள்ளி P-யிலிருந்து ஒவ்வொரு மண்டிலமும் அமையும் தொலைவு,

(iv) புள்ளி P-யையும் மண்டிலங்களையும் இணைக்கும் கோடு OP-யுடன் தாக்கும் கோணம் (Obliquity of the zones)

ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது ஆகும். அரை அலைவு மண்டிலங்களிலிருந்து P-யை அடையும் அலைகளின் வீச்சுகளை முறையே d ,d_n, ... ,d_4, ..., d_n எனக் குறிப்பிடலாம். எல்லா அரை

அவ்வு மண்டிலங்களும் சமபரப்புக் கொண்டுள்ளமையால் அவை எல்லாம் சேர்ந்து உண்டாக்கும் தொகுபயன் வீச்சு, தனித்தனி வீச்சுகளின் குறியியல் கூட்டுத் தொகை (Algebraic sum) ஆகும். எனவே, தொகுபயன் வீச்சு D எனில்,

$$D = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \ldots\ldots\ldots + d_n \text{ ஆகும்.}$$

அடுத்தடுத்த மண்டிலங்கள் கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு π கொண்டிருப்பதால், முதல் மண்டிலத்தின் விளைவினை நேரியலாகக் கொண்டால், இரண்டாவது மண்டிலத்தின் வீச்சு எதிர்க்குறி கொள்ளும். இதன்படி தொகுபயன் வீச்சு

$$D = d_1 - d_2 + d_3 - d_4 + \ldots\ldots (-1)^{n-1} d_n$$

என்று கிடைக்கும்.

மண்டிலங்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்தால் அவை P-ல் தாங்கும் கோணம் அதிகரிக்கும்; தொலைவும் அதிகரிக்கும். இதனால் ஏற்படும் வீச்சுகள் முதல் மண்டிலத்தின் விளைவைவிடச் சீராகக் குறைந்துகொண்டே வரும். இதனால் $d_1 > d_2 > d_3 > d_4 \ldots\ldots > d_n$ என்று இருக்கும். இந்த மதிப்புகளைக் கொண்டு ஏதாவதொரு மண்டிலத்தினால் P-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியை (வீச்சு), அதற்கு முந்தைய மண்டிலத்தின் வீச்சு, அதற்கு அடுத்த மண்டிலத்தின் வீச்சு இவற்றின் சராசரியாகக் குறிப்பிடலாம். உதாரணமாக, இரண்டாவது மண்டிலத்தின் வீச்சு d_2 - வை,

$$d_2 = \frac{d_1 + d_3}{2} \text{ என்று குறிப்பிடலாம்.}$$

இந்த முறைப்படி தொகுபயன் வீச்சு D - யை

$$D = \frac{d_1}{2} + \left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) + \left(\frac{d_3}{2} - d_4 + \frac{d_5}{2}\right) + \ldots\ldots$$

என எழுதலாம். ஆனால், $\frac{d_1}{2} + \frac{d_3}{2} = d_2$; $\frac{d_3}{2} + \frac{d_5}{2} = d_4$ அல்லது $\left(\frac{d_1}{2} + \frac{d_3}{2} - d_2 = 0\right)$; $\left(\frac{d_3}{2} + \frac{d_5}{2} - d_4 = 0\right)$ என்பதாக அமையும். இதனால் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சியில் அடைப்புக்குள்

அமையும் பகுதிகள் எல்லாம் சுழியமாகும். எனவே, தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி,

$$D = \frac{d_1}{2} + \frac{d_n}{2} \text{ ஆகும்.}$$

n ஆவது மண்டிலம் இரட்டைப்படை எண் ஆனால்,

$$D = \frac{d_1}{2} + \frac{d_{n-1}}{2} - d_n.$$

n-ன் மதிப்பு மிக அதிகமாக இருந்தால், d_{n-1}, d_n எல்லாம் மிகக் குறைந்த மதிப்புகளைக் கொண்டிருக்கும். எனவே, $D = \frac{d_1}{2}$ என்னும் மதிப்புக் கிடைக்கின்றது.

தடுப்பு ஏதுமில்லாத படும் அலைமுகப்பானது P-ல் ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சிகளின் தொகுபயன் மதிப்பானது முதல் அரை அலைவு மண்டிலம் ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சியின் பாதியாகும்.

முதல் மண்டிலத்தின் பரப்பு $\pi b\lambda$ ஆகும் $b = 0.5$ மீட்டர்; $\lambda = 5890 \times 10^{-10}$ மீட்டர் என்றால்,

$$\text{பரப்பு} = \pi \times 0.5 \times 5890 \times 10^{-10}$$

$$= 0.9255 \times 10^{-6} \text{ சதுர மீட்டர் ஆகும்.}$$

$$\text{அதன் ஆரம் } r_1 = \sqrt{\lambda b}$$

$$= \sqrt{5890 \times 10^{-10} \times 0.5}$$

$$= 0.543 \times 10^{-4} \text{ மீட்டர் எனவும் கிடைக்கும்.}$$

இந்த மதிப்புகள் மிகக் குறைந்தவையாதலால் பென்சில் அல்லது ஊசி போன்ற பொருள்களின் தடிமங்கள் இந்த ஆரம் r_1போன்ற நீளங்களுக்கு மிகப் பெரியவை.

குண்டூசி முனைகூட முதல் அரை அலைவு மண்டிலத்தின் ஆரத்தினை விட அதிகப் பரிமாணங்கள் கொண்டுள்ளமையால், ஒளி பரவும் பாதையில் வைக்கப்பட்டால், P-யில் ஏற்படக் கூடிய ஒளியினை முழுமையாக மறைத்துவிடுகின்றது. அப்படியே

இல்லாமல் முழு அலை விளைவினை உண்டாக்கினாலும், தொகுபயன் விளைவு முதல் மண்டிலத்திலிருந்து பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் ஏற்படுத்தும் இடப்பெயர்ச்சியினைப் பொறுத்துள்ளது. இடப்பெயர்ச்சி சற்றேறக்குறைய $\frac{d_1}{2}$ எனில்,

$$\text{செறிவு} \propto (\text{இடப்பெயர்ச்சி})^2$$

$$\text{ஆகையால், செறிவு} \cdot I \propto \frac{d_1^2}{4} \quad \text{ஆகும்.}$$

ஆகவே, மிகக் குறுகிய பரப்பான முதல் மண்டிலத்தின் பாதிப் பரப்பிலிருந்து பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகளே P-ல் ஏற்படும் செறிவுக்குக் காரணமாக இருப்பதால், 'ஒளியானது நேர் கோட்டில் பரவுவதாகத் தோன்றுகின்றது. இவ்வாறு ஃபிரனல் அலைக்கொள்கை மூலம் நேர்கோட்டுப் பரவலை விளக்கினார்.

18.4. மண்டிலத் தகடு

(a) மண்டிலத் தகட்டு விளக்கம்

ஃபிரனல் அரை அலைவு மண்டிலங்கள் அமைத்ததைச் சரி பார்க்கும் வகையில் அமைக்கப்பட்டது மண்டிலத் தகடாகும். சோரட் (Soret) என்பவர்தாம் முதலில் இத் தகடுகளை அமைத்தார். முன் பகுதி 18.3 - ல் பார்த்த தொகுபயன் இடப் பெயர்ச்சிக்கான மதிப்பு,

$$D = d_1 - d_2 + d_3 - d_4 + \dots\dots\dots (-1)^{n-1} d_n$$

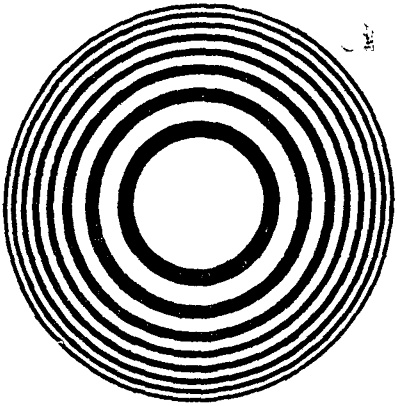
என்னும் சமன்பாட்டில் உள்ள எதிர்க்குறி மதிப்புகளை எல்லாம் நீக்கி மொத்த இடப்பெயர்ச்சியை எல்லா மண்டிலங்களின் நேரியல் விளைவின் மொத்தக் கூடுதல் விளைவாக மட்டுமே ஏற்படுமாறு செய்யவே இத் தகடு அமைக்கப்பட்டது. அதாவது எதிரியல் குறிகொண்டு அமையும் $(-d_2, -d_4 \dots\dots)$ போன்ற மதிப்புகளைத் தொகுபயன் விளைவினின்று நீக்கிவிடும் வகையில் அமைக்கப்பட்டது. இதற்கு அந்த மண்டிலங்களின் வழியாக ஒளி செல்லாமல் தடுத்து நிறுத்தப்பட்டுத் தொகுபயன்,

$$D = d_1 + d_3 + d_5 + \dots\dots\dots$$

என்று அமையுமாறு செய்யப்படுகின்றது. எனவே, P-யை மிகவும் செறிவு கொண்டு அமையுமாறு செய்யலாம். முன் பகுதி 18.3-ல் அரை அலைவு மண்டிலமொன்றின் ஆரத்தின் இருமடி $r_n^2 = bn\lambda$, என்று பார்த்தோம். இதற்கொப்பப் படம் 18.5-ல் அல்லது

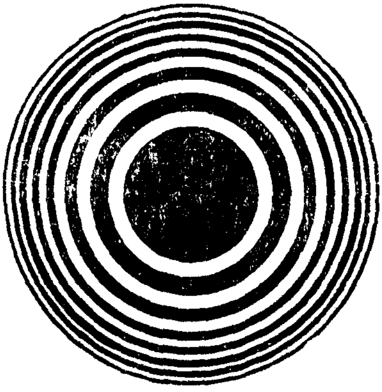
படம் 18.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு இயற்கை எண்களான 1, 2, 3, ... என்னும் எண்களின் வர்க்கமூலங்களுக்கு நேர்விகித மான ஆரங்களைக்கொண்ட வட்டங்கள் வரையப்படுகின்றன.

படம் 18.5-ல் உள்ளவாறு முதல் வட்டத்தை ஒளி புகுமாறும், முதல் வட்டவிளிம்பிற்கும் இரண்டாவது வட்டத்திற்கும் இடைப்பட்ட பகுதியான இரண்டாவது அரைஅலைவு மண்டிலத்தைக் கருமையாக்குவதன்மூலம் ஒளிபுகாமலும் செய்யப்படுகின்றது. மூன்றாவது அரை அலைவு மண்டிலம் ஒளி புகுமாறும் நான்காவது ஒளி புகாதவாறும் செய்யப்படுகின்றன. இதேபோன்று, மற்ற எல்லா இரட்டைப்படை எண் மண்டிலங்கள் எல்லாம் கருமையாக்கப்படுவதால், ஒற்றைப்படை அரை அலைவு மண்டிலங்கள் மட்டுமே ஒளியைக் கடத்துமாறு அமைகின்றன. எனவே. இதனால் புள்ளியொன்றில் ஏற்படும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி $D = d_1 + d_3 + d_5 + \dots\dots\dots$ ஆகும். இத்தகைய மண்டிலத் தகடு நேர்மண்டிலத் தகடு எனப்படும்.



படம் 18.5

படம் 18.6-ல் உள்ளவாறு முதல், மூன்றாவது, ஐந்தாவது என்னும் ஒற்றைப்படை மண்டிலங்கள் கருமையாக்கப்பட்டு இரண்டு, நான்கு, ஆறு போன்ற இரட்டைப்படை மண்டிலங்கள் ஒளி புகுமாறு செய்யப்பட்டால், கிடைக்கும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி $D = d_2 + d_4 + d_6 + \dots\dots\dots$ என்று கிடைக்கும். இவ்வகை மண்டிலத் தகடு எதிர் மண்டிலத் தகடு எனப்படும்.



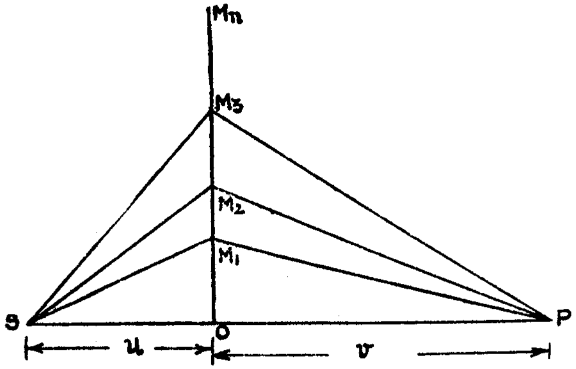
படம் 18.6

(b) மண்டிலத்தகடு தயாரிக்கும் முறை

இயற்கை எண்களான 1, 2, 3, ... இவற்றின் வர்க்கமூலத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் அமையும் எண்ணளவு ஆரங்களைக் கொண்ட வட்டங்கள் பெரிய உருக்கொள்ளுமாறு தாளொன்றின் மீது வரையப்படுகின்றன.

நேர் மண்டிலத் தகடு உண்டாக்கப் படம் 18.5-ல் உள்ள வாறு முதல் அரை அலைவு மண்டிலம் (முதல் வட்டப் பரப்பு), மூன்றுவது அரை அலைவு மண்டிலம் போன்ற ஒற்றைப்படை மண்டிலங்கள் இந்தியன் மை கொண்டு கருமையாக்கப்படுகின்றன. தாளின் மீதுள்ள இவ்வமைவு குறைந்த உருவ (0.01 மீட்டர்) அளவு கொள்ளுமாறு படவியல் தகடு கொண்டு ஒளிப்படம் (photo) எடுக்கப்படுகின்றது. கிடைக்கும் எதிர்ப் படவியல் தகடு (Negative) படம் 18.6 - ல் உள்ளவாறு இருக்கும். இதன் அச்சுகள் (prints) தயாரிக்க அவை படம் 18.5-ல் உள்ள வாறு கிடைக்கும். இந்த அச்சுகள் நேர்மண்டிலத் தகடுகளாகப் பயன்படும்.

எதிர்மண்டிலத் தகடுகள் தயாரிக்கப் படம் 18.5 - ல் உள்ளவாறு தாளின்மீது வரைந்துகொண்டு, அதன் எதிர்ப் படவியல் தகடு (Negative) உண்டாக்கலாம். இதன் அச்சுகள் தயாரிக்கப் படம் 18.6 ல் உள்ளவாறு கிடைக்கும். இவற்றை எதிர்மண்டிலத் தகடுகளாகப் பயன்படுத்தலாம்.



படம் 18.7

(c) மண்டிலத் தகடு செயல்படும் முறை

படம் 18.7 - ல் உள்ள OM_n என்பது தாளின் தளத்திற்குக் குத்தாக அமையும் மண்டிலத் தகட்டின் குறுக்குவெட்டுப் பகுதி

எனக் கொள்வோம். S என்னும் புள்ளி ஒளி மூலம், தகட்டினின்று 'u' தொலைவில் அமைந்துள்ளது எனக் கொள்வோம். தகட்டினின்று 'v' தொலைவில் அமைந்துள்ள திரையின்மீது ஏற்படும் பொலிவான படிவம் P எனக் கொள்வோம். OM_1, OM_2, OM_3 என்பவை முறையே முதல், இரண்டாவது, மூன்றாவது அரை அலைவு மண்டிலங்களின் ஆரங்கள் ஆகும். இவற்றை r_1, r_2, r_3 எனக் குறிக்கலாம். இந்த ஆரங்களைக் கொண்டு வரையப்படும் அரை அலைவு மண்டிலங்களை உண்டாக்கும் வட்டங்கள்

$$SO+OP = a+b$$

$$SM_1+M_1P = a+b+\frac{\lambda}{2}$$

$$SM_2+M_2P = a+b+\frac{2\lambda}{2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$SM_n+M_nP = a+b+\frac{n\lambda}{2} \qquad \text{———} (1)$$

என்னும் சமன்பாடுகள் சரிசெய்யப்படும் வகையில் வரையப்பட்டுள்ளன எனக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு மண்டிலத்திலும் அமையும் ஒத்த புள்ளிகளின் வழியாகச் செல்லும் கதிர்களுக் இடையே $\frac{\lambda}{2}$ அளவு பாதை வேறுபாடு உண்டாகின்றது.

இதன்படி,

$$SM_n + M_nP = SO + OP + \frac{n\lambda}{\lambda} \qquad \text{———} (2)$$

என்று எழுதலாம். $SO=u$, $OP=v$ என்று கொள்வோம்.

$M_nO=r_n$ என்பது n ஆவது வட்டத்தின் ஆரமெனில்,

$$SM_n = \left[(SO)^2 + (MO_n)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(u^2 + r_n^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= u^2 \left(1 + \frac{r_n^2}{u^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

பெருமியல் தேற்றப்படி விரித்து எழுத,

$$SM_n = u^2\left(1+\frac{r_n^2}{2u^2}+\ldots\ldots\ldots\right) \qquad \text{——— (3)}$$

எனக் கிடைக்கும்.

இதேபோன்று

$$M_nP = \left[v^2+r_n^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= v^2\left(1+\frac{r_n^2}{2v^2}+\ldots\ldots\right) \qquad \text{——— (4)}$$

சமன்பாடு (3), (4) இவைகளிலிருந்து மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (2)-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$u+\frac{r_n^2}{2u}+v+\frac{r_n^2}{2v}=u+v+\frac{n\lambda}{2}$$

அல்லது, $r_n^2\left(\frac{1}{u}+\frac{1}{v}\right)=n\lambda$

அல்லது, $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{n\lambda}{r_n^2}$

என்னும் சமன்பாடு கிடைக்கும்.

$\frac{1}{f_n}=\frac{n\lambda}{r_n^2}$ என்னும் மதிப்பினைக் கொண்டால்,

$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{n\lambda}{r_n^2}=\frac{1}{f_n}$ என்று எழுதலாம். இச் சமன்பாடு, குவி வில்லையொன்றினுக்கான சமன்பாடு போன்று அமைகின்றது.

மண்டிலத் தகட்டின் குவிய தூரம் $f_n=\frac{r_n^2}{n\lambda}$ ஆக இருக்கும். எனவே, பயன்படும் அரை அலைவு மண்டிலங்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்தும், பயன்படும் ஒளியின் அலை நீளத்தைப் பொறுத்தும். மண்டிலத் தகட்டின் குவிய தூரம் அமையும் என்பது தெளிவு. எனவே, மாறும் குவிய தூரம் கொண்ட குவிவில்லை போல் இது பயன்படும்.

(d) மண்டிலத்தகடும் குவிவில்லையும்

(i) குவிவில்லையொன்றில் ஒளிமூலம் S-லிருந்து, கருதப்படும் புள்ளி P-க்கு, வில்லையின் எப்பகுதியின் மூலமும் ஒளி செல்ல எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் சமமாக இருக்கும்,

மண்டிலத் தகட்டில், மையத்திலிருந்து அமையும் ஒன்று விட்ட மண்டிலங்களின் வழியாக S-லிருந்து P-க்கு ஒளி செல்லும் பொழுது, ஒன்றுக்கொன்று ஓர் அலைவு காலம் (T) கடந்து P-யைச் சேர்கின்றன.

(ii) குவிவில்லையொன்றுக்கு $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ என்னும் சமன்பாட்டினுக்கொப்பக் கிடைக்கும் நிலையான குவியம் உண்டு.

ஆனால், மண்டிலத் தகட்டில் குறிப்பிட்ட பரப்பில் அமையும் அரை அலைவு மண்டிலங்களின் எண்ணிக்கை, திரை அமையும் நிலையைப்பொறுத்தது ஆகும். எனவே, குறிப்பிட்ட S-ன் நிலைக்கு, $P_1, P_2 \ldots$ என்று பல படிவங்கள் தோன்றலாம். எனவே, பல குவியங்கள் அமைகின்றன. குவியங்கள் $f_n = \frac{r_n^2}{n\lambda}$ என்னும் சமன்பாட்டின்படி அமைகின்றன.

(iii) ஒளி விலகல் ஏற்படும்போது வில்லையில் அமையும் குவிய தூரம் ஒளியின் அலை நீளத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் அமையும் $f \propto \lambda$-வாக இருக்கும், இதனால் சிவப்பு நிறத்திற்கு அமையும் குவியதூரம் f_r, ஊதா நிறத்திற்கான குவியதூரம் f_v-யை விட அதிகமாக இருக்கும்.

ஆனால் மண்டிலத் தகட்டில்,

$$f_n = \frac{r_n^2}{n\lambda} \text{ அல்லது } f \propto \frac{1}{\lambda}.$$

இதனால் λ_r-க்கான குவியதூரம் f_r, λ_v-க்கான குவியதூரம் f_v-யை விடக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, சிவப்புக் கதிர்கள் ஊதாக் கதிர்களுக்கு முன்பே குவியும்.

(iv) வில்லைகளினால் உண்டாக்கப்படும் படிவங்கள் மிகவும் செறிவு மிக்கவையாக இருக்கும்.

மண்டிலத் தகட்டில் அடுத்தடுத்த கடத்துநிலை மண்டிலங்களிலிருந்து ஓர் அலைவு நேரம் கடந்து, ஒளியானது படிவப் புள்ளியைச்சேர்வதால் செறிவு குன்றிய படிவம் உண்டாகும்.

18.5 கட்டமாறு மண்டிலத் தகடு

சில மண்டிலங்களை மறைத்து, சில மண்டிலங்கள் மட்டும் விளைவு ஏற்படுத்துமாறு உள்ள சாதாரண மண்டிலத் தகட்டி

வின்று, மாறுபட்ட ஒன்றினை அமைப்பது குறித்து இராலே எடுத்துக் கூறினார். அடுத்தடுத்த அரை அலைவு மண்டிலங்களை மறைத்துவிடுவதைக் காட்டிலும், மறைக்கும் மண்டிலங்களின் வழியாகச் செல்லும் ஒளியலைகளின் பாதை நீளத்தை $\frac{\lambda}{2}$ அளவுக்கு அதிகப்படுத்தினால், கடத்தும் மண்டிலங்களின் வழியாகச் செல்லும் ஒளியினுக்குக் கட்டப் பொருத்தம் ஏற்படுமாறு செய்ய இயலும். இதனால் எல்லா அரை அலைவு மண்டிலங்களினால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சிகளானது ஒரே திசையில் அமையும். ஆகவே, தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி

$$D = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + \ldots\ldots\ldots\ldots + d_n$$

என இருக்கும். பெருமச் செறிவு உண்டாகும்.

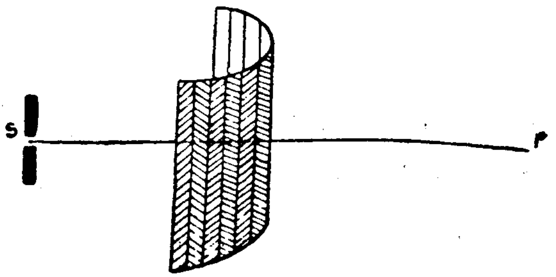
வுட் (Wood) என்பார் 1898 ஆம் ஆண்டு இந்தக் கருத்தினைக் கொண்டு அமைத்த மண்டிலத் தகடுதான் கட்டமாற்று மண்டிலத் தகடு (Phase reversal zone plate) எனப்பட்டது.

மெல்லிய கண்ணாடித் தகடொன்று வேதியியல் முறையில் சுத்தம் செய்யப்பட்டு, அதன்மீது மெல்லிய படலமாக அமையுமாறு ஜிலேட்டின் கரைசல் ஊற்றப்படுகின்றது. இத் தகடு நன்கு உலரவைக்கப்படுகின்றது. பின்பு, கிட்டத்தட்ட ஐந்து விநாடிகளுக்கு நீர்த்த பொட்டாசியம் டைகுரோமேட்டுக் கரைசலில் வைக்கப்பட்டு அதிக உணர்வு மிக்கதாக்கப்படுகின்றது. உலர்ந்த பின்னர், சாதாரண மண்டிலத் தகடொன்றுடன் இணைக்கப்பட்டுப் பல நிமிடங்களுக்குச் சூரிய ஒளிபடும்படி செய்யப்படுகின்றது. சாதாரண மண்டிலத் தகட்டில் மறைக்கப்பட்ட பகுதியின் வழியாகச் சூரிய ஒளி செல்லாது. கடத்துநிலை மண்டிலங்களின் வழியாக ஒளி செல்லும். சூரிய ஒளிபட்ட பகுதியில் உள்ள ஜிலேட்டின் நீரில் கரையாது. ஒளி படாத பகுதியில் உள்ள ஜிலேட்டின் நீரில் கரையுமாறு உள்ளது. இந்தக் கரையும் பகுதிகளைத் தேவையான தடிம அளவுக்குக் கரைய விட்டு மீதிப்பகுதி படலமாகவே இருக்கும்படி செய்து, மீண்டும் நன்கு உலரவிடப்படுகின்றது.

இவ்வாறு கிடைக்கும் மண்டிலத் தகடு எல்லாப் பகுதிகள் வழியாகவும் கடத்துவதாக அமைவதோடு, எல்லா மண்டிலங்களின் வழியாகச் செல்லும் ஒளியலைகளும் சமகட்டத்திலிருக்குமாறு செய்கின்றது. எனவே, ஏற்படும் செறிவு சாதாரண மண்டிலத் தகட்டினைப் போன்று நான்கு மடங்கு அதிகம் கொண்டதாக உள்ளது.

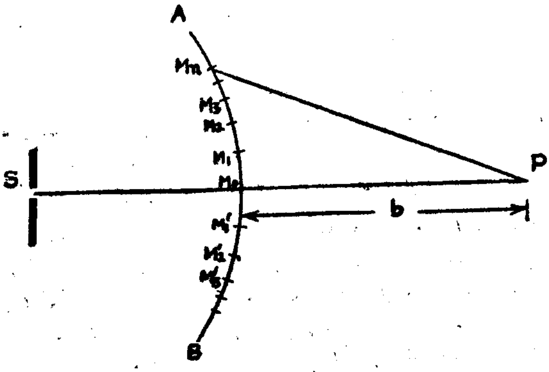
18.6 உருளை அலை முகப்புகள்

பெரும்பாலான விளிம்பு விளைவுகள் ஒற்றை ஒளிகொண்டு ஒளியூட்டப்பட்ட குறுகிய பிளவுகளை ஒளி மூலங்களாகக் கொள்வதன்மூலம் உண்டாக்கப்படுகின்றன. பிளவுகள் மூலம் உண்



படம் 18.8

டாக்கப்படும் அலைமுகப்புகள் உருளை வடிவமாகப் படம் 18.8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு இருக்கும். இவ்வகை அலைமுகப்புகள் புள்ளியொன்றில் ஏற்படுத்தும் செறிவினைக் காண முன்போலவே அரை அலைவு மண்டிலங்களாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன. ஆனால், வட்ட வளையங்கள் போன்று அல்லாமல் பட்டைகள் (strips) வடிவு கொள்ளுமாறு பிரிக்கப்படுகின்றன.



படம் 18.9

படம் 18.9-ல் S என்பது தாளின் பரப்புக்குக் குத்தான பிளவாகும். இதனின்று உருளை அலை முகப்புகள் பரவுகின்றன. AB என்பது உருளையின் குறுக்குவெட்டில் அமையுமொரு வில்லாகும். இந்த அலை முகப்பினால் P-ல் ஏற்படும் செறிவினைக் காண

வேண்டுமெனக் கொள்வோம். $PM_0 = b$ எனக் கொண்டால், P-யின் வழியாக அமையும் பொதுவான குத்து அச்சினைப் பற்றிய உருளைகளை, அவற்றின் ஆரங்கள் முறையே,

$$b + \frac{\lambda}{2},\ b + \lambda,\ b + \frac{3\lambda}{2}, \ldots\ldots\ldots, b + \frac{n\lambda}{2}$$

என்னும் அளவுகளுக்குக் கொண்டு வரைந்தால், அவை அலை முகப்பை நேர்கோடுகளில் வெட்டும். இதனால் படம் 18.8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு பட்டைகளாகப் பிரிக்கப்படும். இந்தப் பட்டைகள் அரை அலைப் பட்டைகள் எனப்படும்.

உதாரணமாக, படம் 18.9-ல் $PM_1 - PM_0 = \frac{\lambda}{2}$; $PM_2 - PM_1 = \frac{\lambda}{2}$ என்று இருக்கும். எனவே அடுத்தடுத்த பட்டைகள் P-யிலிருந்து $\frac{\lambda}{2}$ தொலைவு கூடுதல்கொண்டு அமையும். இதனால் அடுத்தடுத்த பட்டைகளுக் கிடைப்பட்ட கட்ட வேறுபாடு π கூடுதலாக இருப்பதால், கட்டப்பொருத்த மற்றவைகளாகின்றன. பட்டை அமைவுகள் குறித்துக் கீழ்க் காணும் உண்மைகள் கருத்தில் கொள்ள வேண்டியவைகளாகும்.

(i) எல்லாப் பட்டைகளும் சமநீளம் கொண்டவை.

(ii) பட்டைகள் எல்லாம் சமபரப்புக் கொண்டவை அல்ல (அரை அலைவு மண்டிலங்கள் சமபரப்புக் கொண்டவை).

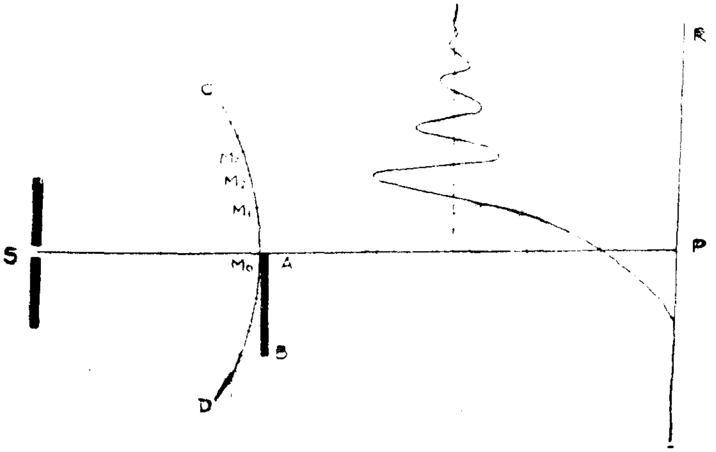
(iii) பட்டைகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கும்பொழுது பரப்புகள் முதலில் வேகமாகக் குறைகின்றன. மிக அதிக எண்ணிக்கைகள் கொள்ளும்பொழுது பரப்புக் குறைவு சிறிதளவாக அமைகின்றது.

(iv) கருதப்படும் புள்ளியிலிருந்து மிக அண்மையில் அலை முகப்பின்மீது அமையும் புள்ளி அதன் உச்சி (pole) எனப்படும். படம் 18.9-ல் P-க்கு M_0 என்பது உச்சி யாகும். P அல்லாத மற்றப் புள்ளிகள் எனில் வேறு உச்சிகள் கருதப்படல் வேண்டும்.

18.7 நேர்விளிம்பில் விளிம்பு விலகல்

படம் 18-10-ல் S என்பது தாளின் தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ள ஒளியூட்டப்பட்ட குறுகிய பிளவு ஆகும். இதனின்று பரவும் உருளை அலைகள் AB என்னும் ஒளிபுகா நேர்விளிம்பு straig ht edge) மீது படுகின்றன. CD என்பது தான் படும் உருளை

அலைமுகப்பின் வில் பகுதி. திரை RP-ன் மீது ஏற்படும் ஒளியூட்டத்தினைக் கருதுவோம்.



படம் 18.10

S-யையும் A-யையும் இணைத்துத் திரையின்மீதுள்ள புள்ளி P வரை நீட்டவும். புள்ளி P-க்குக் கீழ்தான் AB-ன் நிழல் திரையின் மீது அமையவேண்டும். வடிவியல் ஒளியியல்படி P-க்கும் R-க்குமிடையே சீரான ஒளியூட்டமும், P-க்குக் கீழ் இருளும் இருக்க வேண்டும். ஆனால் நன்றாக ஆய்ந்து பார்த்தால் P-க்கும் R-க்கும் இடையில் பெரும, சிறுமச் செறிவுகள் மாறி மாறி அமையும் வரிப் பாங்கமொன்று கிடைக்கின்றது. மேலும், வரி அகலங்கள் சமமாக இல்லாமல் குறைந்துகொண்டே செல்கின்றன. மேலே செல்லச் செல்ல மிகநெருங்கி அமைந்து சீரான ஒளியூட்டத்தினைக் கொடுக்கின்றன.

P-க்குக் கீழ் இருளுக்குப் பதிலாக ஒளியூட்டம் காணப்படுகின்றது. ஆனால், எந்தவிதமான வரிப் பாங்கமும் இல்லாமல் P-யிலிருந்து கீழாகக் கவனித்தால், செறிவு குறைந்துகொண்டே சென்று சுழியமாகின்றது.

முதலில் PR பகுதியில் P-க்கு அருகில் கிடைக்கும் வரிப் பாங்கத்திற்கான காரணத்தை ஆய்வோம். புள்ளி P-க்கு அலைமுகப்பின் மீதுள்ள புள்ளி M_0 உச்சி ஆகும். அலைமுகப்பின் மேல் பகுதியான ACஆல் முழுவதுமாக ஒளியூட்டம் பெறும் நிலையில் P உள்ளது. எனவே, அலைப் பட்டைகள் M_0M_1, M_1M_2, M_2M_3 முதலியவற்றால் P-ல் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சிகளை

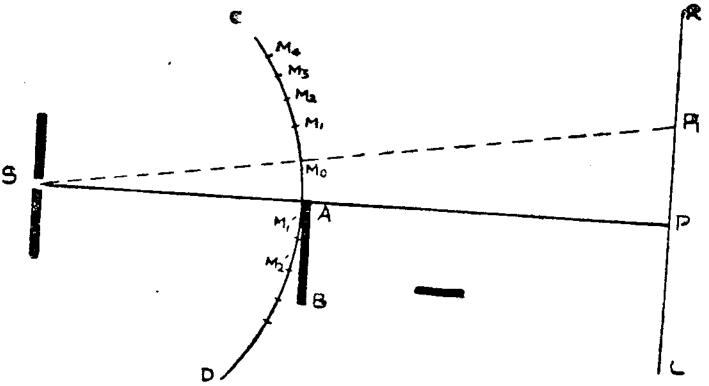
முறையே d_1, d_2, d_3 எனக் குறிப்போம். அடுத்தடுத்த பட்டைகளுக்கான கட்டவேறுபாடு π ஆதலால் உண்டாகும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சியை;

$$D = d_1 - d_2 + d_3 - d_4 + d_5 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$= \frac{d_1}{2}$$

என்று குறிக்கலாம். எனவே, P-ல் அமையும் செறிவு

$$= \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 = \frac{d_1^2}{4}$$

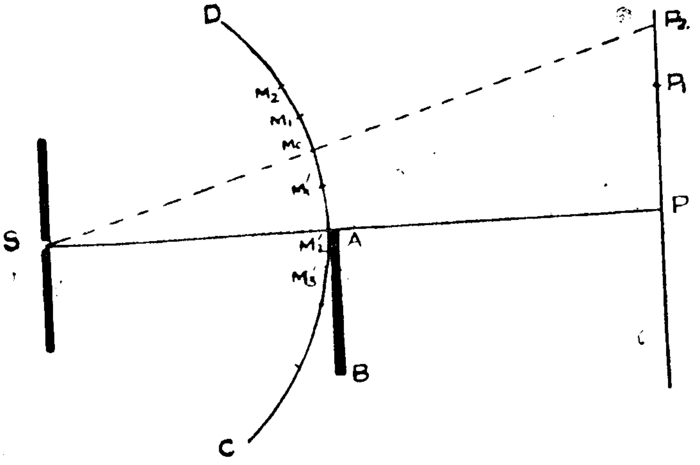
ஆக இருக்கும்.



படம் 18.11

அடுத்து, படம் 18.11-ல் உள்ளவாறு P க்கு மேலே அமைந்துள்ள P_1 என்னும் புள்ளியில் உண்டாகும் ஒளிச் செறிவைக் கருதுவோம். P_1-க்கு M_0 உச்சியாகும். M_0 மேல்நோக்கிச் சென்றிருப்பது கருதத்தக்கதாகும். இதனால் அலைமுகப்பின் மேல்பகுதி மட்டுமேயல்லாமல், கீழ்ப்பகுதியில் ஒரு பட்டையும் P_1-ல் ஒளியூட்டம் ஏற்படுத்துமாறு உள்ளது. முன்பு பார்த்ததுபோல அலைமுகப்பின் மேற்பகுதியால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $\frac{d_1}{2}$ ஆகும். கீழ்ப் பகுதியின் முதல் பட்டையினால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி d_1. ஆக மொத்த இடப் பெயர்ச்சி $d_1 + \frac{d_1}{2} = \frac{3d_1}{2}$ ஆகும். இதனால் P_1-ல் உண்டாகும் செறிவு $\frac{9d_1^2}{4}$ ஆகும். P-யைப் போன்று ஒன்பதுமடங்கு அதிகம் செறிவுகொண்ட புள்ளியாக P_1 உள்ளது.

P_1-க்கு இன்னும் சற்று மேலே திரையின் மீது அமையும் புள்ளி P_3-வைக் கருதுவோம். இந்த புள்ளியானது அலைமுகப்பின் மேல் பகுதி மட்டுமேயல்லாமல், கீழ் பகுதியில் இரண்டு அரை அலைவு பட்டைகள் மூலமும் ஒளியூட்டம் பெறுமாறு அமைந்துள்ளது. இந்த அமைவு படம் 18.12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. முன்போலவே, மேல் பகுதி முழுவதும் ஒளியூட்டுவதினால் கிடைக்கும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி $\frac{d_1}{2}$ ஆகும். கீழ்ப் பக்கத்தினால் கிடைக்கும் இடப்பெயர்ச்சி $(d_1 - d_2)$ ஆகும். ஆனால் இந்த மதிப்பு கிட்டத்தட்ட சுழியமாகும். எனவே P_2-வில் கிடைக்கும் செறிவு $\frac{d_1^2}{4}$ ஆகும். இதனால் சிறும செறிவு கொண்ட வரிப்பாங்கம் கிடைக்கும்.



படம் 18.12

P_2-வுக்கும் மேலே அமையுமொரு புள்ளி P_3-ஐ கருதுவோம். இஃது அலைமுகப்பின் மேல் பகுதி, மற்றும் கீழ்ப்பகுதியில் மூன்று பட்டைகள் மூலம் ஒளியூட்டம் பெறுமாறு அமைந்துள்ளதாகக் கொள்வோம். இதன் உச்சி M_0 இன்னும் மேலே அமையும். P_3-இல் ஏற்படும் மொத்த இடப்பெயர்ச்சியை.

$$D = \frac{d_1}{2} + d_1 - d_2 + d_3$$

என எழுதலாம். இதனை,

$$D = \frac{d_1}{2} + \frac{d_1}{2} + \left(\frac{d_1}{2} - d_2 + \frac{d_3}{2}\right) + \frac{d_3}{2}$$

என மாற்றி எழுதலாம். அடைப்புக்குள் அமையும் பகுதி சுழிய மாகும். எனவே, தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி,

$$D = d_1 + \frac{d_3}{2} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, P_3-ல் செறிவு

$$= \left(d_1 + \frac{d_3}{2}\right)^2 \text{ ஆகும்.}$$

$$\frac{d_1}{2} = \frac{d_3}{2} \text{ (கிட்டதட்ட) எனக் கொண்டால்,}$$

ஏற்படும் செறிவு

$$\left(\frac{3d_1}{2}\right)^2 = \frac{9d_1^2}{4} \text{ ஆகும்.}$$

P_1-ஐப் போன்று P_3-யும் பெரும செறிவு கொள்ளும் புள்ளியா கின்றது.

எனவே, PR பகுதியில் பெரும பொலிவு வரிகளும், சிறும பொலிவு வரிகளும் மாறி மாறி உண்டாகும். இந்த மாதிரியான வரிகளைக் கொண்ட பாங்கமானது, விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் எனப் படும். உண்டாகும் வரிகள் சம அகலம் கொண்டவை அல்ல. இவற்றின் செறிவுகளையும் P-யிலிருந்து அமையும் தொலைவுகளை யும் கொண்டு வரைப்படம் வரைந்தால் படம் 18.10-ல் காட்டப் பட்டுள்ளவாறு செறிவு வளைவரைவு கிடைக்கும்.

அடுத்து, P-க்கு கீழே அமையும் வடிவியல் நிழலினுள் செறிவு உள்ள விதத்தினை ஆய்வோம். இதற்கு PL பகுதியில் அமையும் புள்ளியொன்றுக்கு அலைமுகப்பின் முழு கீழ்ப்பகுதியும், மேல் பகுதியில் முதல் அரை அலைவு பட்டையும் AB-ஆல் மறைக்கப்படு நிலையில் உள்ளதெனக் கொள்வோம். இதனால் அப்புள்ளியில் ஏற்படும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சியை,

$$D = -d_2 + d_3 - d_4 + d_5 + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

என்று குறிக்கலாம். இதனை மாற்றி எழுதி மதிப்புக் காண,

$$D = -\frac{d_2}{2}$$

எனக் கிடைக்கும். எனவே, ஏற்படும் செறிவு

$$\left[\frac{-d_2}{2}\right]^2 = \frac{d_2^2}{4}$$

ஆகும். இந்த செறிவானது கிட்டத்தட்ட P-யில் உள்ள செறிவின் அளவே ஆகும்.

இன்னும் கீழே PL பகுதியில் புள்ளியொன்றை, அலைமுகப்பின் முழு கீழ்ப்பகுதியும், மேல் பகுதியில் இரண்டு பட்டைகளும் மறையும் நிலையில் கருதுவோம். எனவே, இடப்பெயர்ச்சி

$$D = d_3 - d_4 + d_5 - d_6 + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

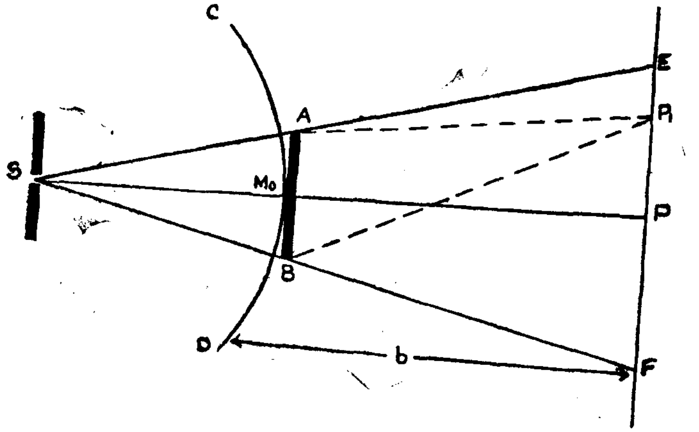
$$= \frac{d_3}{2} \text{ ஆகும்.}$$

ஆக, செறிவு $\frac{d_3^2}{4}$ என இருக்கும். $\frac{d_2^2}{4}, \frac{d_3^2}{4}$ இரண்டு மதிப்புகளும் கிட்டத்தட்ட சமமாக இருக்குமாதலால் திரையின்மீது PL பகுதியில் அமையும் எல்லா புள்ளிகளிலும் அதிக வேறுபாடற்ற செறிவு இருக்கும். எனவே, செறிவு தொடங்கும் நிலையிலிருந்து P வரை சீராக ஒளியூட்டம் அதிகரித்துக் கொண்டிருக்கும். படம் 18.10-ல் P வரை உள்ள வரைவு மூலம் இந்த செறிவு காட்டப் பட்டுள்ளது.

18.8. குறுகிய கம்பியொன்றில் விளிம்பு விளைவு

படம் 18.13-ல் AB என்பது மெல்லிய தடிமம் கொண்ட கம்பியைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். S என்னும் ஒளியூட்டப் பட்ட பிளவினின்று வரும் உருளை அலைமுகப்பின் பகுதி CD ஆகும். திரையின்மீது E-க்கு மேலும், F-க்குக் கீழும் விளிம்பு விளைவு வரிகள் உண்டாகின்றன. EF பகுதி கருமையாக இருக்க வேண்டும். ஆனால், இப்பகுதியினுள் சமவரி அகலமும், பெரும சுழிய செறிவுகளும் கொண்ட குறுக்கீட்டு வரிகள் உண்டாகின்

றன. இதற்குக் காரணம் கம்பியின் மேல்பகுதி A-யும், கீழ்ப் பகுதி B-யும் நெருங்கி அமைந்த இரு ஓரியில் ஒளி மூலங்கள் போன்று செயல்படுவதேயாகும்.



படம் 18.13

படம் 18.13-ல் P எப்பொழுதும் பெரும செறிவு மிக்க புள்ளி யெனக் காட்டலாம். AB ஆனது M_0C, M_0D என்னும் அலை முகப்பின் மேல், கீழ்ப் பகுதிகள் இரண்டிலும் இரண்டிரண்டு அரை அலைவு பட்டைகளைத் தடுக்கும் அளவுக்கு தடிமம் கொண்டதெனக் கொள்வோம். எனவே, மீதியுள்ள பட்டைகளினால் மேல் பகுதி $\frac{d_3}{2}$ அளவும், கீழ்ப்பகுதி $\frac{d_3}{2}$ அளவும் இடப்பெயர்ச்சியை P-யில் உண்டாக்கும். எனவே,

$$\text{ஏற்படும் செறிவு} = \left[\frac{d_3}{2}+\frac{d_3}{2}\right]^2 = d_3^2 \text{ ஆகும்.}$$

இது பெரும செறிவாகும்.

AB-ஆனது இரண்டு பகுதிகள் (M_0C, M_0D) ஒவ்வொன்றி லின்றும் மூன்று அரை அலைவுப் பட்டைகளைத் தடுக்கும் அளவுக்கு தடிமம் கொண்டிருந்தால், ஒவ்வொரு பகுதியாலும் $\frac{d_4}{2}$ அளவு இடப்பெயர்ச்சி P-யில் உண்டாகும். எனவே, d_4^2 மொத்த செறிவு P-யில் ஏற்படும்.

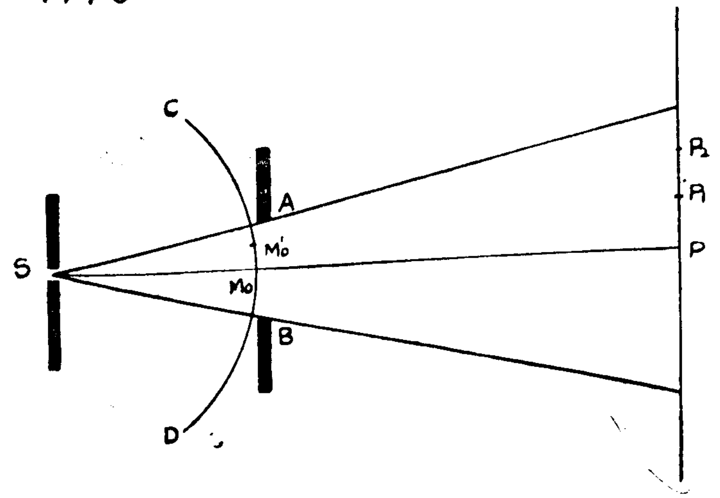
ஆகவே, AB ஆனது மெல்லியதாக இருந்தால் P ஆனது எப் பொழுதும் சுழிய வரிசை (Zero order) பொலிவு வரி அமையும்

இடமாக இருக்கும். EF பகுதியில் குறுக்கீட்டு வரிகள் உண்டாகும். E-க்கு மேலாகவும் F-க்குக் கீழாகவும் விளிம்பு விளைவு பாங்கங்கள் உண்டாகும்.

வடிவியல் நிழல் பகுதியான EF-க்குள் அமையும் புள்ளி P_1-ஐக் கருதுவோம். இதில் ஏற்படும் விளைவு, பாதை நீள வேறுபாடு (BP_1-AP_1)-ஐ பொறுத்து இருக்கும். $(BP_1-AP_1) = n\lambda$ அளவு இருந்தால் பொலிவு வரியும், $(BP_1-AP_1) = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$ என்று இருந்தால் இருள் வரியும் உண்டாகும். அத்தியாயம் 15-ல் பகுதி 15.6-இல் உள்ளபடி, வரி அகலம் $\beta = \frac{D}{2d}\lambda$ எனக் காட்டலாம். இங்கு, D என்பது கம்பிக்கும் திரைக்குமான தூரமாகும். $2d$ என்பது கம்பியின் விட்டமாகும். ஆகவே மெல்லிய கம்பியில் உண்டாகும். விளிம்பு விளைவு அதன் விட்டத்தினை அளப்பதற்கு பயன்படும் முறையாக அமைகின்றது.

18.9 குறுகிய பிளவில் விளிம்பு விளைவு

பிளவு AB ஆனது மிகக் குறுகியது எனக் கொள்வோம். S-லிருந்து பரவும் உருளை அலைமுகப்பு CD-யின் இரு பகுதிகளிலிருந்து சில அரை அலைவு பட்டைகளே P-யில் உண்டாகும் ஒளியூட்டத்திற்குக் காரணமெனக் கொள்வோம். படம் 18.14-ல்



படம் 18.14

உள்ளவாறு M_0C பகுதியினின்றும் M_0D பகுதியினின்றும் ஒற்றைப் படை எண் கொண்ட அரை அலைவுப் பட்டைகள் P-யில் ஒளியூட்டம் ஏற்படுத்திஞல், P பொலிவு மிக்கதாக இருக்கும். இரட்டைப்படை எண் அரை அலைவுப் பட்டைகள் P-யில் ஒளியூட்டுமாறு இருந்தால் P-ஆனது இருளாக அமையும்.

M_0C பகுதியிலிருந்து ஐந்து அரை அலைவு பட்டைகளும், M_0D பகுதியிலிருந்து ஐந்து அரை அலைவுப் பட்டைகளும் P-யில் ஒளியூட்டம் செய்வதாகக் கொள்வோம். ஆக, AB-யில் அமையும் மொத்த அரை அலைவு பட்டைகளின் எண்ணிக்கை பத்து. மேல் பகுதி ஐந்து, கீழ்ப்பகுதி ஐந்து பட்டைகளின் விளைவுகளிஞல் P_1 பொலிவுடன் இருக்கும்.

P_1 என்னும் புள்ளியை P-க்கு மேலே எடுத்துக் கொள்வோம் P_1-ஐ பொறுத்த உச்சி M_0' ஆகும். இது M_0-வுக்கு மேலே அமைகின்றது. இப்பொழுது $M_0\,C$ பகுதியில் நான்கு பட்டைகளும், M_0D பகுதியில் ஆறு பட்டைகளும் P_1-ல் ஏற்படும் விளைவினுக்குக் காரணமாக அமையட்டும். எனவே, M_0C பகுதியால் ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சி $= d_1-d_2+d_3-d_4$. இந்த மதிப்பு கிட்டத்தட்ட சுழியமாகும். $M_0'D$ பகுதியால் உண்டாகும் இடப்பெயர்ச்சி $= d_1-d_2+d_3-d_4+d_5-d_6$. இந்த மதிப்பும் கிட்டத்தட்ட சுழியமாக இருக்கும். இதஞல் P_1 ஆனது சிறும செறிவு கொண்டதாக இருக்கும்.

அடுத்து, P_2 என்னும் புள்ளியானது மேல் பகுதி அலைமுகப்பால் 3 பட்டைகளும், கீழ்ப்பகுதி அலைமுகப்பால் 7 பட்டைகளும் ஒளியூட்டப்படுமாறு அமைந்துள்ளதாகக் கொள்வோம். எனவே, ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சிகள் முறையே $d_1-d_2+d_3$, $d_1-d_2+d_3-d_4+d_5=d_6+d_7$ ஆக இருக்கும்.

எனவே,

மேல் பகுதியிஞல் கிடைக்கும் இடப்பெயர்ச்சி $= \dfrac{d_1}{2}+\dfrac{d_3}{2}$.

கீழ்ப் பகுதியிஞல் கிடைக்கும் இடப்பெயர்ச்சி $= \dfrac{d_1}{2}+\dfrac{d_7}{2}$.

P_2-வில் ஏற்படும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சி

$$D = \left(\frac{d_1}{2}+\frac{d_3}{2}\right), + \left(\frac{d_1}{2}+\frac{d_7}{2}\right)$$

ஆகும். இதஞல் P_2 செறிவுமிக்கதாக அமையும்.

எனவே, பொதுவாக P_1 ஆனது P-யிலிருந்து மேல்நோக்கியோ கீழ்நோக்கியோ EF பகுதிக்குள் நகர்ந்தால், பெரும, சிறும, செறிவுகளைக் கொள்ளும். பெருமமாக இருக்கும்போழுது இரண்டு பகுதிகளிலிருந்தும் ஒற்றைப்படை எண் கொண்ட அரை அலைவுப் பட்டைகளிலும், சிறுமமாக இருக்கும்பொழுது, இரண்டு பகுதிகளிலிருந்தும் இரட்டைப் படை எண் கொண்ட அரை அலைவு பட்டைகளிலும் ஒளியூட்டம் அமையும். எனவே, EF பகுதியில் விளிம்பு விளைவுப் பாங்க வரிகள் உண்டாகும்.

வினாக்கள்

1. ஒளியின் அலைக்கொள்கைப் பற்றி எழுதுக. இக்கொள்கை மூலம் ஒளியின் நேர்கோட்டுப் பரவலுக்கு ஃபிரனல் கொடுத்த விளக்கத்தைக் கொடுக்க.

2. மண்டிலத் தகடு என்பது என்ன? இதன் தயாரிப்பு முறையை விளக்குக. பல குவியங்கள் கொண்டு இவ்வகைத் தகடு ஒரு குவிவில்லை போன்று செயல்படுவதை விளக்குக.

3. நேர் விளிம்பில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவினை விளக்குக.

4. குறுகிய கம்பியொன்றில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவினை விளக்கி, எவ்வாறு கம்பியின் விட்டம் காணலாம் என்பதனை தக்க குறிக்கோவைகளுடன் விளக்குக.

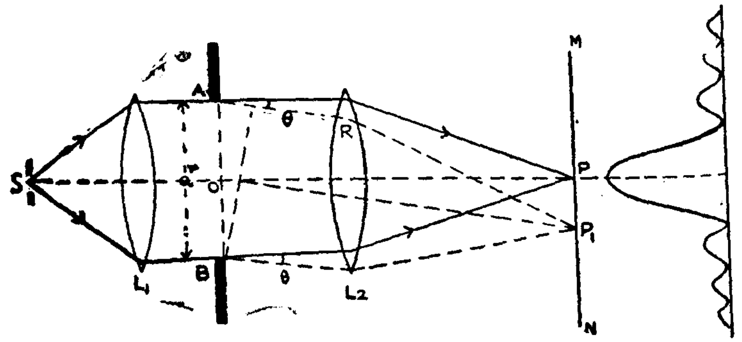
5. கட்டமாறு மண்டிலத் தகடு பற்றி குறிப்பொன்று வரைக.

19. பிரான் ஹோபர் விளிம்பு விளைவு

19.1 பிரான் ஹோபர் விளைவானது, விளிம்பு விளைவை ஏற்படுத்தும் திறப்பினின்று ஒளிமூலமும், திரையும் அறுதியில்லாத தொலைவுகளில் இருக்கும்போழுது ஏற்படுவது என்று பார்த்தோம். இதனால் படும் அலைமுகப்பானது தள அலைமுகப்பு ஆகும். எனவே, திறப்பின் மீது அமையும் இத்தள அலைமுகப்பினின்று சம கட்டத்தில் இரண்டாம் நிலை அலைகள் முன்னேறுவதால் உண்டாகும் விளிம்பு விளைவடைந்த அலைமுகப்பும் தள அலைமுகப்பாகவே இருக்கும். ஆகவே, புள்ளியொன்றை அடையும் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சிகளைக் காணுதல் இவ்வகை விளிம்பு விளைவில் எளிமையாக உள்ளது.

19.2 ஒற்றை பிளவில் பிரான் ஹோபர் விளிம்பு விளைவு

பிரான் ஹோபர் விளிம்பு விளைவில் படும் அலைமுகப்பு தள அலைமுகப்பாக இருக்க வேண்டும். விளிம்பு விளைவு அடைந்த ஒளியை வில்லை ஒன்றினைக்கொண்டு திரையின் மீது பிடிக்க வேண்டும். இதனால் ஒளிமூலம் மிக அதிகமான தொலைவில் அமைந்திருக்க வேண்டும்; அல்லது இணைக்கதிர்கள் உண்டாக்கும் இணையாக்கி (Collimator) வில்லையொன்றைப் பயன்படுத்தி அதன் மூலம் தள அலைமுகப்பை உண்டாக்க வேண்டும்.



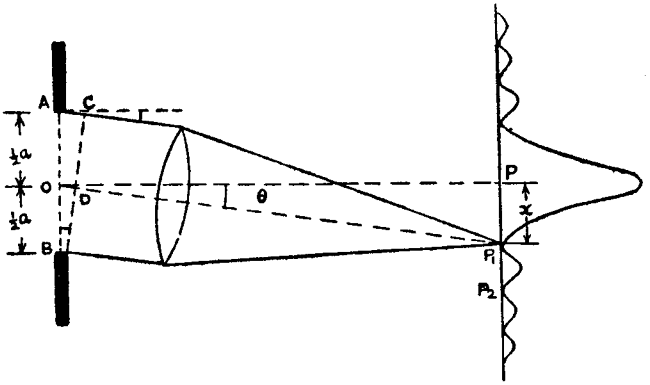
படம் 19.1

படம் 19.1-ல் S என்பது தாளின் தளத்திற்கு குத்தாக உள்ள ஒற்றைநிற ஒளிகொண்டு ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவு ஒளி மூலமாகும். L_1 இணையாக்கு வில்லை. AB என்பது a அளவு அகலம் கொண்ட ஒற்றைப் பிளவு ஆகும். வில்லை L_1-லிருந்து தள அலை முகப்பு AB-யின் மீது படுகின்றது. AB-யில் விளிம்பு விலகலுக்குப் பின்னர் செல்லும் அலைமுகப்பு வில்லை L_2-வினால் குவிக்கப்பட்டு திரை MN-ன் மீது அமையும் விளைவு கருதப்படுகின்றது. திரை தாளின் தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ளது. SP திரைக்கு குத்தாக உள்ளது. இப்பொழுது திரையின் மீது அகண்ட மைய பொலிவு வரியும், அதனையடுத்து இருள் பொலிவு வரிசைகளும் மாறி மாறி அமைந்துத் தோன்றுகின்றன. மையத்திலிருந்து மேல் அல்லது கீழாக சற்று தொலைவில் அமையும் வரிகள் குறைந்த செறிவு கொண்டுள்ளன. பிளவினை இன்னும் குறுகியதாக அமைத்தால் மையப்பொலிவு வரியின் அகலமும், மற்ற வரிகளின் அகலங்களும் அதிகமாகின்றன. இந்த வரிகள் ஒற்றைப் பிளவில் விளிம்பு விளைவு ஏற்படுவதினால் உண்டாக்கப்படுகின்றன. அல்லது, இவ்வரிகள் ஒற்றைப் பிளவின் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் ஆகும்.

இந்தப் பாங்கம் தோன்றுதலை கீழ்க்காணுமாறு விளக்கலாம். AB-யின் மீது படும் தள அலைமுகப்பின் மீதுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியும் ஹாய்ஜனின் கொள்கைப்படி இரண்டாம் நிலை அலைமூலங்களாக உள்ளன. OP திசைக்கு இணையாகப் பரவும் எல்லா, இரண்டாம்நிலை அலைகளும் P-யில் குவிக்கப்பட்டு, மையப் பெரும செறிவுப் படிவத்தினை உண்டாக்குகின்றன. AB-யை OA, OB என்னும் இருசம பகுதிகளாகப் பிரிப்பதாகக் கொள்வோம். மையம் O-விலிருந்து, AO பகுதியிலும், OB பகுதியிலும் சம தொலைவுகளில் அமையும் புள்ளிகளிலிருந்து பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் P-யை அடைவதற்கு சமதொலைவுகள் பரவுகின்றன. எனவே, பாதை வேறுபாடு சுழியமாகும். இதனால் P-யில் பெரும செறிவு கொண்டு அமைகின்றது.

படம் 19.2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு திரையின் மீது அமையும் P_1, P_2 போன்ற புள்ளிகளை அடையும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் வேறுபட்ட தொலைவுகளைக்கடந்து பின்னர் அப்புள்ளிகளை அடைகின்றன. P-யிலிருந்து அதிக தொலைவில் அமையும் புள்ளிகளுக்கு பாதை வேறுபாடுகளும் அதிகமாக இருக்கும். முதலில் P_1-ஐ அடையும் அலைகளின் தொகுபயன் இடப்பெயர்ச்சியைக் கருதுவோம். படும் திசைக்கு θ கோணத்தில் விளிம்பு விளைவை அடையும் அலைமுகப்புகள் P_1 ஐ அடைவதாகக் கொள்வோம்.

புள்ளிகள் A, O இரண்டும் OA, OB பகுதிகளில் அமையும் ஒத்த புள்ளிகள். A-யிலிருந்து செல்லும் கதிருக்கு B-யிலிருந்து BC என்னும் குத்துக் கோடு வரையவும். A, B இவைகளிலிருந்து P_1-ஐ அடையும் இரண்டாம் நிலை அலைகளுக் கிடைப்பட்ட கட்ட வேறு பாடு AC ஆகும். B-யிலிருந்தும் O-விலிருந்தும் பரவும் அலைகளுக் கிடைப்பட்ட கட்ட வேறுபாடு OD ஆகும். ஆனால் $OD = \frac{1}{2}$ AC.

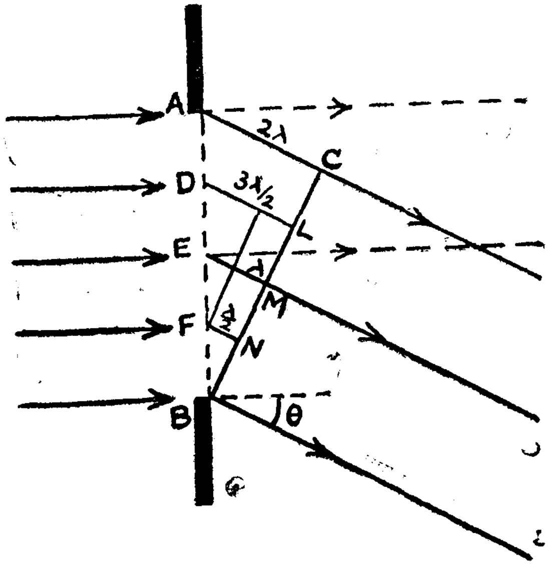


படம் 19·2

$AC = \lambda$ அல்லது λ-வின் முழு எண் பெருக்கற் பலனாக இருக்குமானால் P_1 சிறும செறிவுப் புள்ளியாகும் $AC = \lambda$ எனில், $OD = \frac{\lambda}{2}$ ஆகும். இதனால் திறப்பின் இரு பகுதிகளான OA, OB இவைகளில் அமையும் ஒத்த புள்ளிகளிலிருந்து திரையின்மீது அமையும் புள்ளியொன்றினை அடையும் இரண்டாம் நிலை அலைகளுக்கிடையே உண்டாகும் பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$ ஆகும். உதாரணமாக A-யிலிருந்து P_1-ஐ அடையும் அலைகள், O-விலிருந்து P_1-ஐ அடையும் அலைகளை விட $\frac{\lambda}{2}$ அதிகம் பரவுகின்றன. எனவே $AC = \lambda$ என்றிருக்கும்பொழுது திறப்பு AB-யின் மேல் பகுதி OA, கீழ்ப்பகுதி OB இரண்டினாலும் P_1-ல் ஏற்படும் விளைவு அழிவுக் குறுக்கீட்டினால் சுழியமாகின்றன.

$AC = 2\lambda$ என்று இருப்பதாகக் கொண்டால், திறப்பு AB-யானது நான்கு சம பகுதிகளாக படம் 19.3-ல் உள்ளவாறு பிரிக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்ளலாம். அந்த நான்கு பகுதிகள் AD, DE, EF, FB ஆகியவையாகும். AD பகுதியிலிருந்து வரும் அலைகள் DE பகுதியிலிருந்து வரும் அலைகளுடன் மேற்பொருந்தும்

பொழுது அழிவுக் குறுக்கீடு விளையும். இதேபோன்று *EF, FB* பகுதிகளிலிருந்து தனித்தனியாக வரும் அலைகளும் அழிவுக் குறுக்கீட்டை உண்டாக்கும்.



படம் 19.3

எனவே, முதன்மை பெருமத்திற்கு இரண்டு பக்கங்களிலும் அமையக் கூடிய சிறுமங்களுக்கான நிபந்தனை

$$AC = a \sin \theta = n\lambda$$

அல்லது $$a \sin \theta_n = n\lambda$$

என்பதாகும். இங்கு $n = 1, 2, 3$ .... என்னும் முழு எண்கள் ஆகும். எனவே, முதல் சிறுமம், θ_1 கோணதிசையில்,

$$a \sin \theta_1 = \lambda$$

அல்லது,

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{a}$$

என்று இருக்குமாறு தோன்றும். எனவே *n*-வது சிறுமம்,

$$\sin \theta_n = \frac{n\lambda}{a}$$

என்று அமையும் θ_n திசையில் இருக்கும்.

படம் 19-2ல் திறப்புக்கு வெகு அருகில் வில்லை L இருந்தாலோ அல்லது திரையானது வெகு தொலைவில் அமைந்தாலோ,

$$\sin \theta_1 = \frac{x}{f}$$

என எழுதலாம். இங்கு P-யிலிருந்து P_1 அமையும் தொலைவு x-ம் வில்லை குவியதூரம் f-ம் ஆகும்.

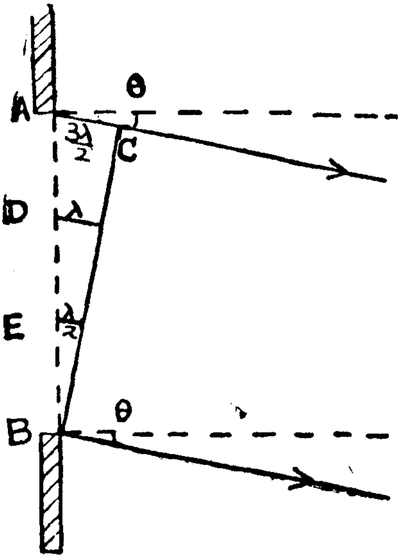
எனவே, $\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{a} = \frac{x}{f}$

என்பதிலிருந்து,

$$x = \frac{f\lambda}{a} \qquad \text{——— 2.}$$

என்று கிடைக்கும். இந்த தொலைவு x, முதன்மை பெருமத்திலிருந்து, முதல் சிறுமம் அமையும் தொலைவாகும்.

படம் 19.4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு $AC = \frac{3\lambda}{2}$ என்று இருக்குமானால், மைய முதன்மை பெருமத்திலிருந்து அடுத்த முதல் பெரும செறிவுப் புள்ளி உண்டாகும்.



படம் 19·4

இதற்கு AB-யை AD, DE, EB என்னும் மூன்று சம பகுதிகளாகக் கருதலாம். ஒவ்வொரு பகுதியும் அடுத்த பகுதியுடன் $\frac{\lambda}{2}$ பாதை வேறுபாடு கொண்டிருக்கும். மூன்று பகுதிகளில், அடுத்தடுத்த பகுதிகளினால் ஏற்படும் விளைவு அழிவு குறுக்கீட்டின் மூலம் சுழியமாகும். மூன்றாவது பகுதி ஆக்க விளைவினை உண்டாக்கும். இதனால் P_1-க்கும் P_2-க்கும் இடையே (படம் 19.2) இரண்டாம் நிலை முதல் பெருமம் உண்டாகும்.

பொதுவாக இரண்டாம் நிலை பெருமங்களுக்கு $AC = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ என்னும் மதிப்புகள், பாதை வேறுபாடுகளாக இருக்க வேண்டும். இங்கு $n = 1, 2, 3......$ என்னும் முழு எண் மதிப்புகள் பெறும்.

எனவே, $AC = a \sin\theta_n = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$

அல்லது, $\sin\theta_n = (2n+1)\frac{\lambda}{2a}$ ——— 3.

என்பது இரண்டாம் நிலை பெருமங்களுக்கான நிபந்தனை ஆகும்.

P-க்கும், பெருமம் உண்டாகும் புள்ளிக்கும் இடைப்பட்ட தொலைவை x' எனக் கொண்டால் (படம் 19.2), இரண்டாம் நிலை பெருமம் அமையும் திசையை,

$$\sin\theta_1 = \frac{3\lambda}{2a} \qquad \text{——— 4.}$$

என்று குறிக்கலாம்.

மேலும், வில்லை பிளவுக்கு மிக அருகில் இருந்தால்,

$$\sin\theta_1 = \frac{x'}{f} \qquad \text{——— 5.}$$

என எழுதலாம்.

சமன்பாடுகள் 4, 5 இரண்டிலிருந்தும்

$$\frac{x'}{f} = \frac{3\lambda}{2a}$$

அல்லது, $x' = \frac{3f\lambda}{2a}$ ——— 6.

என்னும் மதிப்பு கிடைக்கும்.

x'-ன் மதிப்பு, முதன்மை பெருமத்தினின்று இரண்டாம் நிலை முதல் பெருமம் அமையும் தொலைவினைக் குறிக்கின்றது.

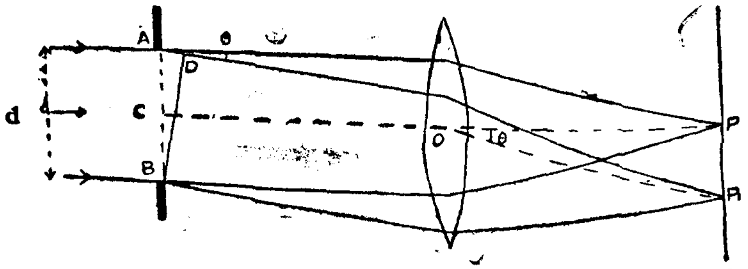
ஆக, ஒற்றைப்பிளவில் உண்டாகும் விளிம்பு விளைவினால் அதிகச் செறிவுமிக்க மையப்பெருமமும், அதனையடுத்த செறிவு மிகக் குறைந்த சிறுமங்களும், பெருமங்களும் அடுத்தடுத்து

அமைந்துத் தோன்றும். இரண்டாம்நிலை பெருமங்கள் (Secondary maxima) மிகக் குறைந்த செறிவுகளைக் கொண்டவைகளாக இருக்கும்.

இரண்டு பக்கங்களிலும் அமையும் முதல் சிறுமங்கள் $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$ என்னும் திசைகளில் அமைவதினால், முதன்மை மையப் பெருமம்(Central primary maximum) $\frac{2\lambda}{a}$ அளவு அகலம் கொண்டு அமையும்.

19.3 வட்டத் திறப்பில் விளிம்பு விளைவு

படம் 19.5-ல் AB என்பது d அளவு விட்டம் கொண்ட வட்டத்திறப்பு எனக் கொள்வோம். C வட்டத்திறப்பின் மையம். P என்பது திரையின் மீதுள்ள புள்ளி. CP திரைக்கு குத்தாக உள்ள நேர்கோடு. திரையானது தாளின் தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ளது. தளஅலை முகப்பொன்று இடமிருந்து வலமாக வட்டத்திறப்பின் மீது படுகின்றது. CO திசையில் பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் எல்லாம் வில்லையால் P-யில் குவிக்கப் படும். இதனால் P மைய பெரும செறிவு அமையும் நிலையாகின்றது.



படம் 19.5

வில்லையின் ஒளி மையம் O-விலிருந்து CO திசையில் சம தூரத்தில் படும் எல்லா இரண்டாம் நிலை அலைகளும் சம தொலைவு பரவுகின்ற காரணத்தால் P-யில் குவிக்கப்படும்.

அடுத்து, CP திசையுடன் θ கோணம் கொண்டு பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகளைக் கருதுவோம். இந்த வகையான எல்லா அலைகளும் படம் 19.5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு P_1-ல் குவிக்கப்படும். $PP_1 = x$ எனக் கொள்வோம். திறப்பின்

விளிம்பு புள்ளிகளான A, B இவைகளிலிருந்து பரவும்இரண்டாம் நிலை அலைகளுக்கிடையேயான பாதை வேறுபாடு AD ஆகும்.

$\triangle ABD$-யிலிருந்து, $AD = d \sin \theta$

என்பது கிடைக்கும். ஒற்றைப் பிளவில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவில் சிறும செறிவுக்கான நிபந்தனையைப் புள்ளி P_1-க்கு ஏற்படுத்த,

$$d \sin \theta_1 = \lambda \qquad \text{———1.}$$

என்று கிடைக்கும்.

புள்ளி P_1 பெரும செறிவு கொள்ள வேண்டுமெனில் உண்டாகும் பாதை வேறுபாடு, $\frac{\lambda}{2}$-வின் ஒற்றைப்படை எண் பெருக்கற்பலனாக இருக்க வேண்டும். இதன்படி,

$$d \sin \theta_1' = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \qquad \text{———2.}$$

ஆகும்.

P_1 சிறும செறிவு கொள்ளும் புள்ளி எனில், P_1-ஐப் போன்று P-யிலிருந்து x தொலைவில் அமையும் எல்லா புள்ளிகளிலும் சிறும செறிவு இருக்கும். எனவே P-ஐ மையமாகவும், x-ஐ ஆரமாகவும் கொள்ளும் வட்டத்தின் பரிதியின் மேல் அமையும் எல்லாப் புள்ளிகளும் சிறும செறிவு கொள்ளும். இதனால் திரையின்மீது சிறும செறிவு வட்டம் ஒன்று கிடைக்கும். எனவே, வட்டத் திறப்பில் விளிம்பு விளைவினால் அமையும் பாங்கம் மையத்தில் பெருமச் செறிவு வட்டு (Disc) ஒன்று கொண்டிருக்கும். இது எர்ரி வட்டு (Airy's disc) எனப்படும். இதனையடுத்து சிறுமச் செறிவு வட்டங்களும், பெருமச் செறிவு வட்டங்களும் மாறிமாறி அமைந்துத் தோன்றும். இவை ஒரு மைய வட்டங்களாக இருக்கும். இந்த வட்டங்கள் எர்ரி வளையங்கள் எனப்படும்.

கருமை வட்டங்களின் செறிவு கிட்டத்தட்ட சுழியமாக இருக்கும். P-யிலிருந்து வெளிப்பக்கம் அமையும் பொலிவு வட்டங்களின் செறிவுகள் குறைந்துகொண்டே செல்லும்.

கதிர்களை சேகரிக்கும் வில்லை திறப்பினுக்கு அருகில் அமைந்திருந்தாலோ அல்லது வில்லையிலிருந்து திரையானது மிக அதிக தொலைவில் இருந்தாலோ,

$$\sin \theta_1 = \theta_1 = \frac{x}{f} \qquad \text{——— 3.}$$

என எழுதலாம். மேலும், இரண்டாம் நிலை முதல் சிறுமத்திற்கு

$$\sin\theta_1 = \theta_1 = \frac{\lambda}{d} \qquad \text{——— 4.}$$

ஆகும். சமன்பாடு 3, 4 இரண்டிலிருந்தும்,

$$\frac{x}{f} = \frac{\lambda}{d}$$

$$\text{அல்லது} \quad x = \frac{f\lambda}{d} \qquad \text{——— 5.}$$

என்னும் மதிப்பு கிடைக்கும். x-தான் பொலிவுடன் அமையும் எர்ரி வட்டின் ஆரமாகும். ஆனால் உண்மையில் அமையும் முதல் கருமை வட்டத்தின் ஆரம் இம்மதிப்பினைவிட அதிகமாகும்.

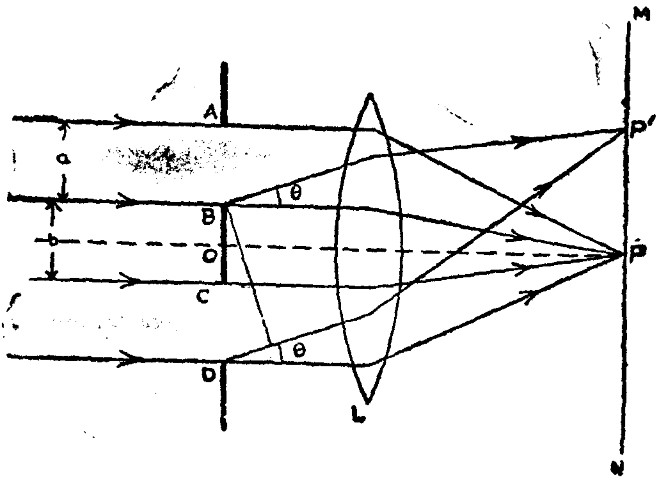
இதனைக் கருத்தில் கொண்டு, எர்ரி,

$$x = \frac{1.22 f\lambda}{d} \qquad \text{——— 6.}$$

என்னும் மதிப்பினைக் கொடுத்தார்- வட்டத்திறப்பின் விட்டத்தை அதிகரித்தால், மையத்தில் அமையும் பொலிவு வட்டின் ஆரம் குறைகின்றது.

19.4 இரட்டைப் பிளவில் பிரான் ஹோபர் விளிம்பு விளைவு

படம் 19. 6-ல் AB, CD என்பவை இரண்டு செவ்வக வடிவ பிளவுகள் ஆகும். அவை ஒன்றிற்கொன்று இணையாகவும், தாளின் தளத்திற்குக் குத்தாகவும் அமைந்துள்ளதாகக் கொள்வோம்



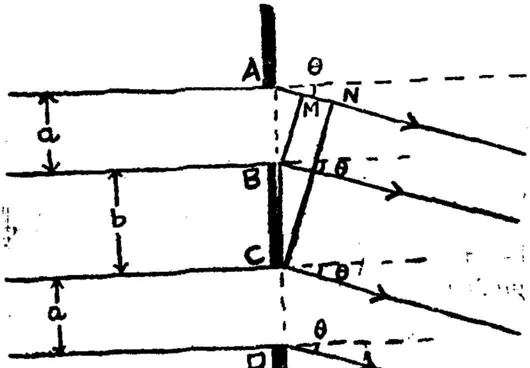
படம் 19.6

ஒவ்வொரு பிளவின் அகலம் 'a' என்றும், அவைகளுக் கிடைப் பட்ட கடத்தாப் பகுதி (Opaque region)-யின் அகலம் 'b' என்றும் கொள்வோம். L என்பது குவிக்கும் வில்லை. MN தாளின் தளத் திற்குக் குத்தாக உள்ள திரை. திரையின் மீது அமைந்துள்ள P என்னும் புள்ளியை O-வுடன் இணைக்கும் பொழுது OP திரைக்குக் குத்தாக உள்ளது. இரட்டைப் பிளவின் மீது தள அலை முகப்பு படுவதாகக் கொள்வோம். OP திசைக்கு இணையாகச் செல்லும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் எல்லாம் திரையின்மீது P-யில் குவிக்கப் படும். இதனால் P ஆனது மையப் பெரும பொலிவு கொள்ளும் நிலையாக உள்ளது. மற்றப் பகுதிகளில் அமையும் செறிவு நிலை களைக் காண, இரட்டைப் பிளவில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவினை இரண்டு வகையில் கருத வேண்டியுள்ளது. அவையாவன :

(i) இரண்டு பிளவுகளிலும் அமையும் ஒத்த புள்ளிகளி லிருந்து வெளியிடப்படும் இரண்டாம் நிலை அலைகளினால் ஏற்படும் குறுக்கீட்டு விளைவு;

(ii) ஒவ்வொரு பிளவிலிருந்தும் செல்லும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் தனித்தனியாக ஏற்படுத்தும் விளிம்பு விளைவு.

குறுக்கீட்டு விளைவினால் ஏற்படும் பெரும, சிறும புள்ளிகளின் நிலைகளைக் கணக்கிடுதலுக்கு, விளிம்பு விளைவுக் கோணம் 'θ' என்றும், விளிம்பு விளைவினால் ஏற்படும் பெரும சிறும புள்ளிகளின் நிலைகளைக்காண, விளிம்பு விளைவுக் கோணம் '$\varnothing$' என்றும் குறிக்கப் படுவதாகக் கொள்வோம்.



படம் 19.7

(i) குறுக்கீட்டு விளைவு—பெரும, சிறும நிலைகள்

படும் திசைக்கு θ கோணத்தில் விளிம்பு விலகல் அடையும் இரண்டாம் நிலை அலைகளைக் கருதவும்.

படம் 19.7-ல், A-யும் C-யும் முறையே முதல் பிளவிலும் இரண்டாவது பிளவிலும் அமையும் ஒத்த புள்ளிகளாகும்.

$\triangle ACN$-ல்,

$$\sin\theta = \frac{AN}{AC}$$

$$= \frac{AN}{(a+b)}$$

$$\therefore \quad AN = (a+b)\sin\theta$$

இந்தப் பாதை வேறுபாடு AN, $\frac{\lambda}{2}$-வின் ஒற்றைப்படை எண்களின் பெருக்கற் பலனாக இருந்தால் இரு பிளவுகளிலிருந்தும் θ கோணதிசையில் பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் குறுக்கீட்டு விளைவினால் உண்டாகும் சிறும செறிவு நிலைகளைக் கொடுக்கும்.

எனவே, பொதுவாக,

$$AN = (a+b)\sin\theta_n$$

$$= (2n+1)\frac{\lambda}{2} \qquad \text{——— 1.}$$

இங்கு, $n = 1, 2, 3 \ldots n$ மதிப்புகளை இட, சிறுமங்கள் அமையும் திசைகளான $\theta_1, \theta_2, \ldots\ldots \theta_n$ கிடைக்கும். சமன்பாடு 1-லிருந்து,

$$\sin\theta_n = \frac{(2n+1)\lambda}{2(a+b)} \qquad \text{——— 2.}$$

என்னும் சமன்பாடு கிடைக்கும்.

மாறாக θ' என்னும் திசையில் பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகளுக் கிடைப்பட்ட பாதைவேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}$-வின் இரட்டைப் படை எண்களின் பெருக்கற் பலனாக இருந்தால், θ' என்பது இரண்டு பிளவுகளிலிருந்தும் பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் ஏற்படுத்தும்

குறுக்கீட்டு விளைவினால் ஏற்படும் பெரும நிலைகள் அமையும் திசைகளைக் குறிப்பதாக இருக்கும்.

$$\therefore \quad AN = (a+b)\sin\theta_n' = 2n\frac{\lambda}{2}$$

அல்லது, $\sin\theta_n' = \dfrac{n\lambda}{(a+b)}$ ——— 3.

இங்கு, $n = 1, 2, 3 \ldots\ldots\ldots n$ என்னும் மதிப்புகளை இட பெருமங்கள் அமையும் திசைகளான $\theta_1' \theta_2' \theta_3' \ldots\ldots$ கிடைக்கும்.

சமன்பாடு 2-லிருந்து,

$$\sin\theta_1 = \frac{3\lambda}{2(a+b)},$$

மற்றும், $\sin\theta_2 = \dfrac{5\lambda}{2(a+b)}$

என்னும் சமன்பாடுகள் கிடைக்கும்.

எனவே, $\sin\theta_2 - \sin\theta_1 = \dfrac{\lambda}{(a+b)}$ ——— 4.

என்னும் மதிப்பு கிடைக்கும். எனவே, உண்டாகும் ஏதாவது இரு அடுத்தடுத்த பெருமங்கள் அல்லது சிறுமங்களுக்கிடைப்பட்ட கோணப்பிரிகை $\dfrac{\lambda}{(a+b)}$ - க்குச் சமமாகும். இக்கோணப் பிரிகை அலை நீளத்திற்கு நேர் விகிதத்திலும், $(a+b)$ மதிப்பிற்கு எதிர் விகிதத்திலும் அமைகின்றது.

(ii) விளிம்பு விளைவு—பெரும, சிறும நிலைகள்

படும் திசைக்கு $\varnothing$ கோண அளவு கொள்ளும் திசையில் விளிம்பு விளைவுக்குப் பிறகு இரண்டாம் நிலை அலைகள் பரவுவதாகக் கொள்வோம். இங்கு ஒவ்வொரு பிளவும் இரண்டு சமபாகங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டு, ஒத்த புள்ளிகளிலிருந்து பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் ஏற்படுத்தும் விளைவினைக்கருத வேண்டும். கோணம் $\varnothing$ என்பது விளிம்பு விளைவு சிறுமம் உண்டாகும் திசையைக் கொடுக்கின்றது எனில், படம் 19.7-ல் A, B இவைகளி

லிருந்து பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகளுக்கிடைப்பட்ட பாதை வேறுபாடு $AM = \lambda$ ஆகும். படும் அலை முகப்பு AB-யை இரண்டு சம பாகங்களாகப் பிரிப்பதாகக் கொண்டால், ஒவ்வொரு பாதியிலும் அமையும் ஒத்த புள்ளிகளிலிருந்து செல்லும் இரண்டாம் நிலை அலைகளுக்கிடையே $\frac{\lambda}{2}$ அளவு பாதை வேறுபாடு அமையும். படம் 19.6-ல் உள்ள P' என்னும் புள்ளியில் அலை முகப்பு AB-ஆல் உண்டாகும் செறிவு சுழியம் ஆகும்.

இதேப் போன்று மற்ற பிளவு CD மூலம் வரும் இரண்டாம் நிலை அலைகளுக்கிடையேயும் λ-வின் முழு எண் பெருக்கற் தொகை அளவுகள் கொண்ட பாதை வேறுபாடுகள் உண்டாகுமாகையால், CD-யால் ஏற்படும் செறிவும் சுழியுமாகும்.

எனவே, பொதுவாக,

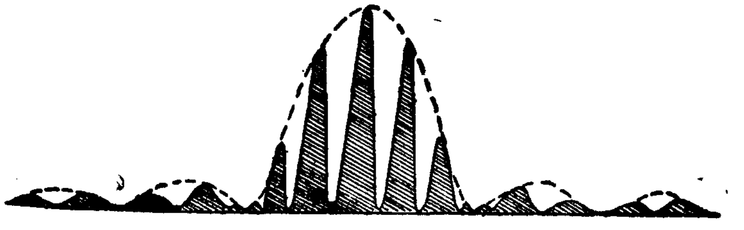
$$a \sin \emptyset_n = n\lambda$$

அல்லது, $\sin \emptyset_n = \frac{n\lambda}{a}$ ——— 5

என்னும் சமன்பாடு கிடைக்கும்.

இது சிறும செறிவுக்கான நிபந்தனையாகும். இங்கு, $n = 1, 2, 3$ ...... என்னும் மதிப்புகளை இட்டால் $\emptyset_1, \emptyset_2$...... என்னும் திசைகளில் அமையும் புள்ளிகளில் அடுத்தடுத்த விளிம்பு விளைவு சிறுமங்கள் கிடைக்கும். சமன்பாடுகள் 3, 5 இவற்றிலிருந்து பார்த்தால், விளிம்பு விளைவு கோணங்களானவை, குறுக்கீட்டு விளைவு கோணத்தை விட மிகப் பெரியவைகளாக இருக்கின்றன என்பது தெரியும். சமன்பாடு 3, இரண்டு குறுக்கீட்டு சிறுமங்களுக்கிடையே அமையும் பெருமத்தைக் கொடுக்கிறது. சமன்பாடு 5 $\left[\sin\emptyset = \frac{n\lambda}{a}\right]$ விளிம்பு விளைவு சிறும திசைக்கான கோணத்தை குறிக்கின்றது. இதனால், பல குறுக்கீட்டு விளைவு சிறுமங்கள் முதல் விளிம்பு விளைவு சிறுமத்தில் அமைகின்றன. இதேப் போன்று மைய விளிம்பு விளைவுப் பெருமம், பல குறுக்கீட்டு விளைவு பெரும சிறுமங்களைக் கொண்டுள்ளது. குறுக்கீட்டு விளைவுப் பெருமத்திற்கான செறிவு விளிம்பு விளைவினால் கட்டுப் படுத்தப்படுகின்றது.

இரட்டைப் பிளவில் அமையும் தொகுபயன் ஒளிச்செறிவுகள் அமைவு படம் 19.8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. மையத்தில் அமையும் குறுக்கீட்டு விளைவின் பெருமம், தனிப்பிளவில்



படம் 19.8

அமையும் விளிம்பு விளைவுப் பெருமத்தினைப் போன்று நான்கு மடங்கு கொண்டதாக உள்ளது. மற்ற குறுக்கீட்டு விளைவுப் பெருமங்கள் மையத்தின் இருபக்கங்களிலும் சீராக குறையும் செறிவுகள் கொண்டு அமைகின்றன. தொடர்கோடு மூலம் சம இடைவெளி கொண்டு அமைந்துள்ளவை குறுக்கீட்டுப்பாங்க வரிகள். புள்ளிக் கோடுகளினால் குறிக்கப்பட்டுள்ளவை விளிம்பு விளைவு வரிகள்.

எனவே, இரட்டைப் பிளவில் விளிம்பு விளைவினால் ஏற்படும் பாங்கமானது, தனித்தனி பிளவுகளினால் உண்டாகும் விளிம்பு விளைவு பாங்கத்துடன் குறுக்கீட்டு விளைவினால் கிடைக்கும் சம இடைவெளி பெரும சிறும வரிகளையும் கொண்டதாக உள்ளது. குறுக்கீட்டு விளைவு பெரும சிறுமங்களுக்கு இடைப்பட்ட இடைவெளி பிளவு அகலம் 'a', ஒளிபுகா பகுதியின் அகலம் 'b' இவற்றினைப் பொறுத்து அமைகின்றது.

19.5 விளிம்பு விளைவு கீற்றணி

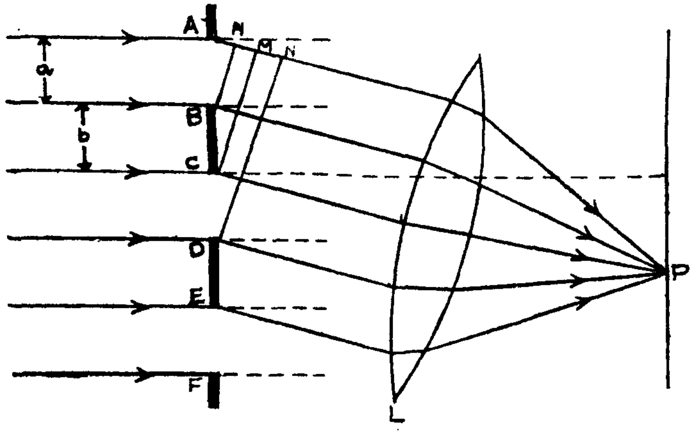
விளிம்பு விளைவின் முக்கியமான பயன்களில் ஒன்று விளிம்பு விளைவு கீற்றணியாகும். சமமான அகலம் கொண்ட மிக அதிகமான எண்ணிக்கையான ஒளிபுகா பகுதிகளுக்கிடையே அமையும் எண்ணிறந்த பிளவுகளைக் கொண்டது விளிம்பு விளைவு கீற்றணியாகும். ஃபிரான்ஹோபர் இணையாகவும் நெருக்கமாகவும் அமைந்த மெல்லிய கம்பிகளுக்கிடையே அமையும் இடைவெளிகளை பிளவுகளாகக் கொண்டு, கீற்றணியை அமைத்தார். கம்பிகளின் விட்டம் $0{\cdot}05 \times 10^{-3}$ மீட்டர் ஆகவும், இடைவெளிகளின் அளவு $0{\cdot}05 \times 10^{-3}$ மீட்டர் முதல், 0.68×10^{-3} மீட்டர் வரையும் இருக்குமாறு எடுத்துக்கொண்டு அமைத்தார். ரவுலண்டு (Rowland) என்பார் எதிரொளிப்பு கீற்றணிகளை அமைத்தார். இவர் வைரமுனை கொண்டு அடுத்தடுத்த மென்கோடுகளை கண்ணாடித் தகட்டின் மீது வரைந்து கீற்றணியை அமைத்தார்

வரையப்பட்ட கோடுகள் ஒளிப்புகாத பகுதியாகவும் இரண்டு கோடுகளுக்கிடைப்பட்ட பகுதி பிளவுபோலவும் செயல்படுகின்றன. இந்த முறையில் கிட்டத்தட்ட $2 \cdot 54 \times 10^{-4}$ மீட்டர் நீளத்தில் 20,000 வரிக்கோடுகள் அமையும்படி செய்தார்.

நன்கு வரைந்தமைக்கப்பட்ட மூலக் கீற்றணியைக்கொண்டு படிகள் தயாரிக்கப்பட்டன. இதற்கு தொங்கு நிலையிலுள்ள பசைப்பொருள்கள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. நன்கு வரையப்பட்ட மூலக்கீற்றணி மீது தொங்கு நிலை கரைசல் ஊற்றப்பட்டு, இறுகுமாறு செய்யப்படுகின்றது. இறுகிய நிலையில் அமையும் மென்படலத்தை நீக்கினால், அது மூலத்தின் மீது அமைந்திருந்த வரிகளின் பதிவைக் கொண்டுள்ளன. இந்த படலத்தை இரண்டு கண்ணாடித் தகடுகளுக்கிடையே வைத்து, ஓரங்களில் ஒட்டிவிட்டால் விளிம்பு விளைவு கீற்றணிக்கிடைக்கும், எதிரொளிக்கும் பரப்பின் மீது நன்கு ஒட்டிவிட்டால், எதிரொளிப்பு கீற்றணி கிடைக்கும்.

19.6 விளிம்பு விளைவு கீற்றணிக் கொள்கை

A B C D...F என்பது கடத்துவகை கீற்றணியொன்றின் சிறு பகுதி எனக்கொள்வோம். பிளவு போல உள்ள கடத்தும் பகுதி ஒன்றின் அகலம் '*a*' என்றும், ஒளிபுகாத பகுதியின் அகலம் '*b*' என்றும் கொள்வோம். கடத்து பகுதியொன்றின் அகலம், கடத்தாப் பகுதியொன்றின் அகலம் இரண்டும் சேர்ந்தது



படம் 19.9

$(a+b)$ என்பது கீற்றணி மூலம் (Grating element) அல்லது கீற்றணி மாறிலி (Grating constant) எனப்படும். அடுத்தடுத்த ஒளிப்புகும் பகுதிகளில் அமைந்து, $(a+b)$ அளவு இடைவெளி கொண்டுள்ள புள்ளிகள் ஒத்த புள்ளிகள் எனப்படும்.

அலை நீளம் λ அளவு கொண்ட ஒற்றை நிற ஒளி கீற்றணி மீது குத்தாகப் படுவதாகக் கொள்வோம். கீற்றணி வழியாக வரும் ஒளியை நேராக வரும்படி செய்து குவிவில்லை யொன்றின் மூலம் குவித்தால் மையப் பெருமச் செறிவு படிவம் கிடைக்கும். இதனை யடுத்து இரண்டு பக்கங்களிலும் பல நிறமாலைப் படிவங்கள் கிடைக்கும். மையப் பெரும வரியிலிருந்து விலகி அமையும் வரி களின் அகலம் அதிகமாகும். ஆனால் செறிவு குறையும்.

படும் ஒளியின் அலை நீளத்துடன் ஒப்பிடும் வகையில் பிளவின் அகலம் அமையுமானால், பிளவுகளை விட்டு வெளியேறும் ஒளி யானது விளிம்பு விளைவு அடையும். ஒவ்வொரு பிளவும் அதனுடைய விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தை உண்டாக்குகின்றது. ஆனால் விளிம்பு விளைவு அடைந்த அலைகள் ஆக்கக் குறுக்கீட்டு விளைவை உண்டாக்குமாறு சந்திப்பதால் பொலிவுடன் கூடிய தெளிவான பெருமங்கள் உண்டாகின்றன. பிளவுகளின் எண்ணிக்கையை அதிகரித்தால் பெருமப் படிவம் பொலிவுடன் கூடிய மிகவும் நன்கு வரையறுக்கப்பட்டதாக அமைகின்றது.

கீற்றணியின் குத்துக்கோட்டுடன் 'θ' கோணம் கொள்ளு மாறு விலகல் அடையும் கதிர்களைக் கருதுவோம். விளிம்பு விலகல் அடையும் இணைக் கதிர்கள் எல்லாம் P-யில் குவிக்கப் படுகின்றன. படம் 19-9-ல் A-யும், C-யும் ஒத்தபுள்ளிகள். AM என்பது C-யிலிருந்தும், A-யிலிருந்தும் P-யை அடையும் கதிர்களுக்கிடைப்பட்ட பாதை வேறுபாடு.

படத்தில் பாதைவேறுபாடு,

$$AM = (a+b)\sin\theta \text{ ஆகும்.}$$

இதேப்போன்று B, D என்பவை ஒத்தபுள்ளிகளாகும். இவை இரண்டிலிருந்தும் பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகளுக்கிடைப் பட்ட பாதை வேறுபாடு,

$$= AN - AH$$
$$= (2a+b)\sin\theta - a\sin\theta$$
$$= (a+b)\sin\theta$$

எனவே A, C புள்ளிகளிலிருந்து பரவும் அலைகளுக்கும், B, D புள்ளிகளிலிருந்து பரவும் அலைகளுக்கும் இடையே குறுக்கீட்டு விளைவு ஏற்பட நிபந்தனை ஒன்றேயாகும். இதனால் எந்த இரண்டு அடுத்தடுத்த திறப்புகளுக்கும் இதே நிபந்தனை பொருந்துவதாகும்.

ஆக, $(a+b) \sin \theta$-வின் மதிப்பு, படும் ஒளியின் அரை அலை நீளங்களின், $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ இரட்டைப்படை எண் பெருக்கற் பலனாக இருக்குமானால், P-யை அடையும் எல்லா அலைகளும் சம கட்டம் கொண்டவையாக இருக்கும். எனவே ஆக்க குறுக்கீட்டு விளைவு மூலம் பெரும செறிவு கிடைக்கும்.

எனவே, பெரும செறிவு புள்ளிகளுக்கு,

$$(a+b) \sin \theta = 2n\frac{\lambda}{2}$$

அல்லது, $(a+b) \sin \theta = n\lambda$

என்று அமையும். எனவே, அலை நீளத்தின் முழு எண் பெருகற் தொகையாக பாதைவேறுபாடு அமைந்தால் பெருமச் செறிவு புள்ளியாக இருக்கும். பலசோடி அடுத்தடுத்த பிளவுகளின் தொகுப்பு விளைவினால்தான் P பொலிவாக உள்ளது. ஓர் அலகு நீளத்தில் அமையும் வரிகளின் எண்ணிக்கை N எனில்,

$$N = \frac{1}{(a+b)} \text{ ஆகும்}$$

எனவே, $(a+b) \sin \theta = n\lambda$

அல்லது, $\sin \theta = \frac{n\lambda}{(a+b)} = Nn\lambda.$

$\sin \theta = Nn\lambda$ என்பதுதான் குத்துப்படுகைக்கு கடத்துவகை கீற்றணிக்கான வாய்ப்பாடு.

வரிசை எண் $n=0$, $\sin \theta_0 = 0$ எனவே $\theta_0 = 0$. இந்த நிலையில் ஏற்படும் படிவம், கீற்றணிக்கு குத்தாக உள்ள திசையில் தோன்றும்.

வரிசை எண் $n=1$, $\sin \theta = N \times 1 \times \lambda = N\lambda$. எனவே, முதல் வரிசை படிவத்திற்கு அமையும் கோண விலகல் θ_1 ஆகும்.

இவ்வாறு n-க்கு முழு எண் மதிப்புகள் கொடுத்தால், கொள்கைப் படி பல பொலிவுப் படிவங்கள் ஏற்படுதல் வேண்டும்.

19.7 கீற்றணி நிறமாலை

வெள்ளொளி கீற்றணி மீது குத்தாகப்படும்படி வைக்கப் பட்டால், மையப்படிவம் பொலிவுமிக்க வெண்மையானதாகவே கிடைக்கின்றது. ஏனெனில், சுழிய வரிசை எண்ணுக்கு $(n=0)$, λ என்ன மதிப்பு கொண்டிருந்தாலும், $\theta_0=0$. வெள்ளொளி பல நிறங்கள் கொண்டிருந்த போதிலும், சுழிய வரிசைப்படிவங்கள் எல்லா அலை நீளங்களுக்கும் ஒரே இடத்தில் அமைவதால், வெள் ளொளி படிவமே உண்டாகின்றது.

மற்ற வரிசைகளுக்கு முடிவு வேறுவிதமாக அமையும். முதல் வரிசைக்கு $\sin\theta_1 = N\times1\times\lambda$. θ_1-வின் மதிப்பு λ-வை பொறுத்து அமைகின்றது. எனவே வெவ்வேறு அலை நீளம் கொள்ளும் வெவ்வேறு நிறத்திற்கான வரிகள் பரவி நிறமாலையாகத் தோன்றும். இதனை முதல் வரிசை நிறமாலை என்பர். θ_1-ன் மதிப்புப் λ-வைப் பொறுத்து அமைவதினால், பெரும அலை நீளம் கொள்ளும் நிறம் அதிக விலகல் கோணம் கொள்ளும். எனவே, சிகப்பு அதிகமாகவும், ஊதா குறைவாகவும் விலகல் அடையும். இதனால், ஆய்வின் மூலம் விலகல் கோணத்தை தீர்மானித்தால். அலை நீளம் λ-க்களை கணக்கிட இயலும்.

19·8 கீற்றணியில் உண்டாகக்கூடிய நிறமாலை வரிசைகளின் எண்ணிக்கை

கொள்கை அளவில் எண்ணிறந்த வரிசைகள் உண்டாகலாம். ஆனால், $\sin\theta = Nn\lambda$ என்னும் சமன்பாட்டினைக் கருதும்பொழுது n-க்கு பெரும மதிப்பு ஒன்று உண்டாகிறது. $\sin\theta = 1$ என்பது பெரும மதிப்பு எனில், $\theta = 90^\circ$ என்றாகின்றது. எனவே, n-ன் பெரு மதிப்பை,

$$s\ 90 = Nn\lambda = 1$$

அல்லது, $n = \dfrac{1}{N\lambda}$ என பெறலாம்.

செ. மீ. நீளத்தில் 5,000 கீற்றணி மூலங்கள் கொண்ட கீற்றணியின் மீது அலை நீளம் $\lambda = 5{\cdot}893\times10^{-6}$ செ. மீ. கொண்ட ஒளிக்கதிர்கள் படுவதாகக் கொண்டால்,

$$n = \frac{1}{5{,}000 \times 5.893 \times 10^{-5}}$$

$$\simeq 3$$

என்று கிடைக்கும். எனவே உண்டாகக் கூடிய நிறமாலை வரிசைகளின் எண்ணிக்கை மூன்று ஆகும்.

19·9 விளிம்பு விளைவு கீற்றணி கொண்டு நிறமாலை வரிகளின் அலைநீளம் காணல்

கீற்றணியானது, நிறமாலை மானியொன்றுடன் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. நிறமாலை மானியை நன்கு சரி செய்து கொள்ள வேண்டும். நிறமாலை மானியின் தொலைநோக்கியின் குறுக்குக் கம்பிகள் தெளிவாக இருக்கும்படி வைத்துக்கொள்ள வேண்டும். தூரப்பொருளொன்றினை தொலைநோக்கியின் மூலம் பார்த்து தெளிவாகத் தெரியும்படி சரிசெய்து கொள்ளவேண்டும். இதனால் தொலைநோக்கி இணைக்கதிர்களைக் கொண்டு தெளிவான படிவத்தை ஏற்படுத்துவதாக அமைகின்றது.

இணையாக்கியில் உள்ள பிளவு மிகக்குறுகியதாக வைக்கப்பட்டு, ஒற்றை நிற ஒளி கொண்டு ஒளியூட்டப்படுகின்றது. இணையாக்கியுடனும், ஒளி மூலத்துடனும் ஒரே நேர்க்கோட்டில் அமையுமாறு தொலைநோக்கித் திருப்பப்படுகின்றது. இணையாக்கியின் வில்லைக்கும் பிளவுக்குமான தொலைவை சரி செய்து சரியான பொலிவுப் படிவம் கிடைக்கும்படி செய்யப்படுகின்றது.

அடுத்து, கீற்றணி நிறமாலை மானியின் பட்டக மேடை மீது குத்தாக வைக்கப்படுகின்றது. இணையாக்கிக்கு சரியாக 90° கோணத்தில் அமையுமாறு தொலைநோக்கி சுழற்றி வைக்கப்படுகின்றது. இப்பொழுது பட்டக மேடையை மட்டும் சுழற்றி கீற்றணியிலிருந்து கிடைக்கும் எதிரொளிப்பு படிவம் குறுக்குக் கம்பியுடன் இணையும்படி செய்யப்படுகின்றது. இந்த நிலையிலிருந்து பட்டக மேடை சரியாக 45° சுழற்றி, படும் கதிர்களுக்கு கீற்றணி குத்தாக அமையும்படி செய்யப்படுகின்றது.

இதன் பின்னர், பட்டகமேடை நிலையாக வைக்கப்படுகிறது. தொலை நோக்கியை சிறிது கோணம் சுழற்றினால் முதல் விளிம்பு விளைவு பெருமம் கிடைக்கும். இதேப்போன்று மைய பெருமத்திற்கு மறு பக்கத்திலும் கிடைக்கும். முதல் வரிசை மட்டுமில்லாமல் இரண்டாவது, மூன்றாவது வரிசைகளும் கிடைக்கும்.

ஏதாவது ஒற்றை நிற ஒளிக்கு முதல் வரிசை நிறமாலை வரி அமையும் கோணம் θ-வை அளக்கலாம். ஒற்றைநிற ஒளியின் அலை நீளம் தெரிந்தால், ஓர் அலகு நீளத்தில் அமையும் கீற்றணி மூலங்களின் எண்ணிக்கையை $\sin\theta = N \times 1 \times \lambda$, என்னும் சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடலாம்.

பின்னர், கொடுக்கப்பட்ட ஒளியினது (பாதரச வில்விளக்கு ஒளி என்க) நிறமாலையை கீற்றணி கொண்டு தோற்றுவிக்கலாம். ஊதா மைய பெருமத்தின் பக்கமாகவும், சிகப்பு விலகியும் அமையும் நிறமாலை கிடைக்கும். தனித்தனி வரிகள் தோன்றும். ஒவ்வொரு வரியின் நிலையை குறிக்கும் கோணங்களை நிறமாலைமானி கொண்டு அளக்கலாம். N-ம் θ-வும் தெரிந்தால் நிறமாலை வரிகளின் λ-க்களின் மதிப்புக்களைக் கணக்கிடலாம்.

19·10 தோன்று நிறமாலை

கீற்றணி மூலமொன்றில் அமையும் கடத்துப் பகுதியின் அகலம் 'a' என்றும், கோடிடப்பட்ட கடத்தாப் பகுதியின் அகலம் 'b' என்றும் கொள்வோம். $(a+b)$ என்பது கீற்றணி மூலம் (Grating element) அகலமாகும்.

நேர்வு (i) $a = b$

கீற்றணி மீது படும் ஒளியின் அலை நீளம் λ எனக் கொள்வோம். θ-கோண விளிம்பு விலகலுக்கு நிறமாலை வரி உண்டாவதாகக் கொள்வோம். நிறமாலை வரி தோன்ற பொதுவான நிபந்தனை:

$$(a+b)\sin\theta = n\lambda$$

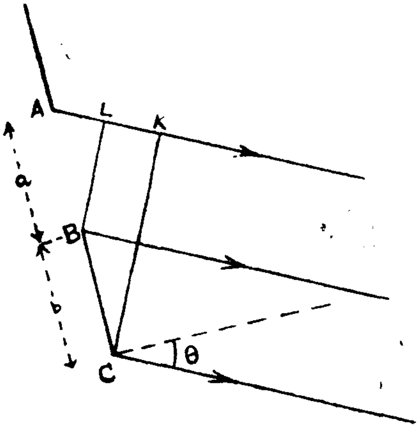
ஆகும்

இங்கு n என்பது வரிசை எண் ஆகும். இரண்டாம் வரிசை நிறமாலைத் தோன்ற நிபந்தனை,

$$(a+b)\sin\theta_2 = 2\lambda \qquad \text{——— 1.}$$

படம் 19-10-ல் AC, ஆகிய விளிம்புகளில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு கதிர்களுக்கிடையே உண்டாகும் பாதை வேறுபாடு AK ஆகும். சமன்பாடு 1-ன் படி

$$AK = 2\lambda \qquad \text{——— 2.}$$



படம் 19.10

திறப்பு அகலம் 'a' கொண்ட பகுதிக்கு மட்டும் அமையும் பாதை வேறுபாடு AL ஆகும், எனவே

$$AL = a\sin\theta_2 = \lambda \qquad \text{———} \; 3.$$

AB-யை ஒற்றை பிளவாகக் கொண்டால், அதன் மேல் விளிம்புப் புள்ளி, கீழ் விளிம்புப் புள்ளி இவைகளில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு கதிர்களுக்கிடையே உண்டாகும் பாதை வேறுபாடு λ எனில், சிறும செறிவு உண்டாகும். அதாவது,

$$a\sin\theta = \lambda,$$

என்றிருக்கும்பொழுது, θ திசையில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு சிறுமமாக இருக்கும். சமன்பாடுகள் 1, 3 இவைகளிலிருந்து, $a = b$, என்றிருந்தால்,

$$(a+a)\sin\theta_2 = 2\lambda,$$

அல்லது,

$$a\sin\theta_2 = \lambda$$

என்னும் சமன்பாடு கிடைக்கின்றது.

ஆனால், $a\sin\theta_2 = \lambda$ என்றிருந்தால் சிறும செறிவு உண்டாகும். இதனால் இரண்டாவது வரிசை நிறமாலை உண்டாகாது.

இதைப்போன்று நான்காவது வரிசை நிறமாலையும் தோன்றாது. நான்காவது வரிசைக்கான விளிம்பு விளைவுக் கோணம் θ_4 எனில்,

$$(a+b)\sin\theta_4 = 4\lambda$$

அல்லது, $$2a\sin\theta_4 = 4\lambda$$

அல்லது, $$\sin\theta_4 = 2\lambda$$

ஒற்றைப்பிளவில் இந்த நிபந்தனைக்கு இரண்டாவது சிறுமம் உண்டாகும். எனவே, நான்காவது வரிசை நிறமாலையும் தோன்றாது. இவ்வாறே 6-வது, 8-வது......முதலிய வரிசைகளும் $a=b$ என்றிருக்கும் பொழுது தோன்றா.

நேர்வு (ii) $b=2a$

அமைவு $b=2a$ என்பதுடன், மூன்றாவது வரிசை நிறமாலை θ_3 கோணத்தில் ஏற்பட,

$$(a+b)\sin\theta_3 = 3\lambda$$

ஆகும்.

அல்லது, $$3a\sin\theta_3 = 3\lambda$$

அல்லது, $$a\sin\theta_3 = \lambda$$

இந்தச் சமன்பாட்டின்படி, 3-வது வரிசை சிறுமம் ஏற்பட வேண்டுமாதலால், 3-வது வரிசை நிறமாலை தோன்றாது. இதேப் போன்று 6-வது, 9-வது வரிசை நிறமாலைகளும் தோன்றா எனக் காட்டலாம்.

பொதுவாக, $a:b = n_1:n_2$

அல்லது, $\dfrac{a}{b} = \dfrac{n_1}{n_2}$ என்று இருந்தால்

(n_1+n_2), $2(n_1+n_2)$, ... என்னும் வரிசைகளுக்கான நிறமாலைகள் தோன்றா எனக் காட்டலாம்.

19.11 கீற்றணியின் நிறப்பிரிகைத் திறன்

அலைநீளத்தைப் பொறுத்து விளிம்பு விளைவில் ஏற்படும் கோணமாற்றம் நிறப்பிரிகைத் திறன் எனப்படும். கணிதவியலாக $\dfrac{d\theta}{d\lambda}$ எனக் குறிப்பிடலாம் பெரும பொலிவு கொள்ளும் முதன்மை பெருமம் ஏற்பட நிபந்தனை,

$$(a+b)\sin\theta = n\lambda \qquad \text{——— 1}$$

இங்கு, கோணம் θ-வானது n-வது பெருமம் ஏற்படும்பொழுது உண்டாகும் விளிம்பு விளைவு கோணமாகும்.

சமன்பாடு 1-ன் தொகுனி காண

$$(a+b)\cos\theta\ d\theta = n\,d\lambda$$

∴ நிறப்பிரிகை திறன்,

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n}{(a+b)\ \cos\theta}$$

$$= \frac{n\,N}{\theta\ \cos}\left[\because \frac{1}{(a+b)} = N\right]$$

எனவே, நிறப்பிரிகைத்திறன் வரிசைஎண்ணுக்கு நேர்விகிதத்திலும், ஓரலகு நீளத்தில் அமையும் கீற்றணி மூலங்களுக்கு நேர் விகிதத்திலும் உள்ளது. θ-வின் மதிப்பு பெரும்பாலும் குறைவாக இருப்பதனால் $\frac{1}{\cos\theta}$

மதிப்பால் அதிகம் மாறுதல் ஏற்படாது.

$$\left(\because \frac{1}{\cos\theta} \simeq 1\right)$$

எல்லா வரிசைகளிலும் உண்டாகும் நிறமாலை வரிகள் அவற்றின் அலைநீள வேறுபாடுகளுக்கு நேர்விகிதத்தில் கோண மாற்றங்கள் ஏற்படுமாறு தோன்றுகின்றன. இவ்வகை நிறமாலை ஒழுங்கமைவு நிறமாலை எனப்படும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. குறுகிய பிளவொன்றிலிருந்து 1 மீட்டர் தொலைவில் திரையொன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது. பிளவு $5{,}000\times10^{-10}$ மீட்டர் அலைநீளம் கொண்ட ஒற்றைநிற ஒளியியால் ஒளியூட்டப்படுகின்றது. மத்திய பெருமத்திலிருந்து 5×10^{-3} மீட்டர் தொலைவில் இரண்டு பக்கங்களிலும் முதல் சிறுமங்கள் உண்டானல், பிளவின் அகலத்தைக் கணக்கிடுக.

கோணம் 'θ' முதல் சிறுமம் அமையும் திசையைக் கொடுத்தால்,

$$a\sin\theta = \lambda$$

முதல் சிறுமம் உள்ளத் தொலைவை x எனக்கொண்டால்,

$$\sin\theta = \frac{x}{1} = x$$

$$\therefore\ a = \frac{\lambda}{\sin\theta} = \frac{5{,}000\times10^{-10}}{5\times10^{-3}}$$

$$= 1\times10^{-4}.$$

2. 1×10^{-3} மீட்டர் விட்டம் கொண்ட வட்டத்திறப் பொன்றின் மீது ஒளி குத்தாகப்படுகின்றது. திறப்பினின்று 1 மீட்டர் தொலைவில் திரை உள்ளது. திரையின் மீது ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தின் மைய வட்டின் விட்டத்தைக் கணக்கிடுக. மைய வட்டினை சுற்றி அமையும் முதல் பெரும பொலிவு வட்டத்தின் விட்டத்தினையும் கணக்கிடுக. படும் ஒற்றை நிற ஒளியின் அலைநீளம் 6×10^{-7} மீட்டர்.

ஏர்ரியின் கொள்கைப்படி மையத்தில் அமையும் கருமை வட்டு அல்லது பொலிவு வட்டின் அகலம் x எனில்,

$$\sin\theta = \frac{1.22\lambda}{1\times10^{-3}} \times \frac{x}{1}$$

$$\therefore\ x = \frac{1\times1.22\times6\times10^{-7}}{1\times10^{-3}}$$

$$= 7.32\times10^{-4}\ \text{மீட்டர்.}$$

$\therefore$ விட்டம் $= 14.64\times10^{-4}$ மீட்டர்.

முதல் பொலிவு வட்டத்தின் ஆரம் x' எனில்,

$$\frac{x'}{1} = \frac{1.22\times3\times6\times10^{-7}}{2\times1\times10^{-3}}$$

$$= 10.98\times10^{-4}\ \text{மீட்டர்.}$$

எனவே, விட்டம் $= 21.96\times10^{-4}$ மீட்டர்.

3. ஒற்றை நிற ஒளியின் இணைக்கற்றையொன்று கீற்றணியின்மீது குத்தாக விழும்படி செய்யப்படுகின்றது. கீற்றணி மீட்டருக்கு 1,25,000 வரிகள் கொண்டதாக உள்ளது. இரண்டாவது வரிசை நிறமாலை வரி 30° திசைமாற்றம் கொண்டு ஏற்படுகின்றது. நிறமாலை வரியின் அலைநீளத்தைக் கணக்கிடுக.

கீற்றணிச் சமன்பாட்டின்படி,

$$\sin\theta = Nn\lambda$$

$$= \frac{n\lambda}{(a+b)}$$

அல்லது, $(a+b)\sin\theta = n\lambda$

$$(a+b) = \frac{1}{1,25,000}$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$\therefore \sin\theta = \tfrac{1}{2}$$

$$n = 2$$

$$\therefore \lambda = \frac{(a+b)\sin\theta}{n}$$

$$= \frac{1\times 1}{1,25,000\times 2\times 2}$$

$$= \frac{1}{5,00,000}$$

$$= 2\times 10^{-6}$$ மீட்டர்

4. சோடியம் ஆவி விளக்கின் ஒளிதரும் நிறமாலை வரியின் இரண்டாவது வரிசை நிறமாலையைப் பெற, மீட்டருக்கு 6,00,000 கீற்றணி மூலங்கள் கொண்ட கீற்றணி பயன்படுத்தப்படுகின்றது. $5,890\times 10^{-10}$ மீட்டர், $1,5896\times 10^{-10}$ மீட்டர் அலை நீளங்கள் கொண்ட அருகருகே அமையும் நிறமாலை வரிகள் ஏற்படுத்தும் கோணப் பிரிகையைக் கணக்கிடுக.

$$(a+b)\sin\theta_1 = 2\lambda_1$$

$$(a+b)\sin\theta_2 = 2\lambda_2$$

$$(a\times b) = \frac{1}{6,00,000}$$

$$\lambda_1 = 5.890\times 10^{-10}$$ மீட்டர்

$$\lambda_2 = 5,896\times 10^{-10}$$ மீட்டர்

$$\therefore \quad \sin\theta_1 = 2\times5{,}890\times10^{-10}\times6{,}00{,}000$$

$$= 0.7068$$

$$\therefore \quad \theta_1 = 44°58'$$

இதேப் போன்று,

$$\sin\theta_2 = 2\times5{,}896\times10^{-10}\times6{,}00{,}000$$

$$= 0.7074$$

$$\therefore \quad \theta_2 = 45°1'$$

∴ கோணப்பிரிகை $= 45°1' - 44°58'$

$= 3'$ கொண்ட வில்

5. $5{,}000\times10^{-10}$ மீட்டர் அலைநீளம் கொண்ட ஒளியானது தள ஊடுருவல் கீற்றணியின் மீது குத்தாகப் படுகின்றது. கீற்றணி மூலங்களின் எண்ணிக்கை மீட்டருக்கு 6,00,00. முதல் வரிசை நிற மாலைக்கும், மூன்றாவது வரிசை நிற மாலைக்குமான திசைமாற்றக் கோணங்களுக்கிடைப்பட்ட வேறுபாட்டைக் கணக்கிடவும்.

$\lambda = 5{,}000\times10^{-10}$ மீட்டர்

$$(a+b) = \frac{1}{6{,}00{,}000}$$

முதல் வரிசைக்கு,

$$(a+b)\sin\theta_1 = 1\times\lambda$$

$$\sin\theta_1 = \frac{\lambda}{(a+b)}$$

$$= 5{,}000\times10^{-10}\times6{,}00{,}000$$

$$= 0.30$$

∴ கோணம் $\theta_1 = 17.5°$

மூன்றாவது வரிசைக்கு,

$$(a+b)\sin\theta_3 = 3\lambda$$

$$\sin\theta_3 = \frac{3\lambda}{(a+b)}$$

$$= 3\times5\times10^{-7}\times6{,}00{,}000$$

$$= 0.90$$

$$\theta_3 = 64.2^\circ$$

$$\therefore \text{கோணப்பிரிகை} = 64.2-17.5$$

$$= 46.7^\circ$$

6. $5{,}890\times10^{-10}$ மீட்டர், $5{,}896\times10^{-10}$ மீட்டர் அலைநீளங்கள் கொண்ட வரிகளை அருகருகே அமையும் வரிகளை பிரிக்கும் வகையில் அமைய, கீற்றணி ஒன்றில் மீட்டருக்கு எத்தனை கீற்றணி மூலங்கள் இருக்க வேண்டும்?

$$\text{பகுப்புத்திறன்} = \frac{\lambda}{d\lambda} = nN$$

$$n = 2$$

$$\lambda = 5{,}890$$

$$d\lambda = 5{,}896-5{,}890$$

$$= 6\times10^{-10}$$

$$\therefore \frac{5{,}890}{6} = 2\times N$$

$$N = \frac{5{,}890}{6\times2}$$

$$= 491 \text{ (கிட்டத்தட்ட)}$$

விஞக்கள்

1. ஒற்றைப் பிளவொன்றின் மீது குத்தாக ஒற்றை நிற ஒளியொன்று படும் பொழுது ஏற்படும் திரையின்மீது கிடைக்கக் கூடிய விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தைப் பற்றி விளக்குக.

2. கீற்றணியொன்று அமைத்தல் குறித்து விரிவாக எழுதுக. இதனைக்கொண்டு நிறமாலை வரிகளின் அலைநீளங்களைத் தீர்மானித்தலை விளக்குக.

3. விளிம்பு விளைவு கீற்றணியொன்றின் கொள்கையைக் கொடுக்க. அதனுடைய பகுதிறனுக்கு வாய்ப்பாடொன்றைப் பெறுக.

4. கீற்றணியொன்று மீட்டருக்கு 6,00,000 மூலங்களைக் கொண்டது. பாதரச ஆவி விளக்கு கொடுக்கும் மஞ்சள் வரிகளான $5{,}770 \times 10^{-10}$, $5{,}791 \times 10^{-10}$ மீட்டர் அலைநீளங்கள் கொண்ட ஒளிக்கதிர்கள் இரண்டாவது வரிசை நிறமாலைக்கு ஏற்படுத்தும் கோணப் பிரிகையைக் கணக்கிடுக. (9.5′)

5. இரட்டைப் பிளவில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தை விவரி. இதனின்று விளிம்பு விளைவு கீற்றணிக்கான கொள்கை எவ்வாறு பெறப்படுகின்றது.

6. வட்டத்திறப்பில் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவினை விளக்குக. ஒளியியல் கருவிகளின் பகுதிறனைக் கணிப்பதில் இது எவ்வாறு பயன்படுகின்றது என்று விளக்கவும்.

7. சிறு குறிப்பு வரைக

(a) தோன்று நிறமாலை

(b) கீற்றணியின் நிறப்பிரிகைத் திறன்.

20. ஒளியியல் கருவிகளின் பகுதிறன்

20·1 நுண்ணோக்கிகள், தொலைநோக்கிகள் முதலியவை களால் ஏற்படும் உருப்பெருக்கங்களைப் பற்றி 'அத்தியாயம்-9 ஒளியியல் கருவிகள்' என்னும் பகுதியில் பார்த்தோம். ஒளியியல் கருவிகள் உருப்பெருக்குவதுடன், பொருள்களின் நுணுக்க அமைவுகளையும் காட்ட வல்லவைகளாக இருக்க வேண்டும். இவ்வாறு பொருள்களின் நுணுக்கங்களை வெளிக்கொணரும் திறன், பகுதிறன் எனப்படும். பகுதிறன் குறைந்த நிலையில், கருவியொன்றுக்கான மிக அதிகமான உருப்பெருக்குத் திறன் தேவையற்றதாகின்றது. இதனால் கருவியொன்றின் உருப்பெருக் கத்திற்கான பெரும எல்லை மதிப்பு, அக்கருவியின் பகுதிறனால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றது என்பது தெளிவு.

விளிம்பு விளைவு (Diffraction) பகுதியில் பார்த்தபடி ஒளியியல் தொகுப்பொன்றானது, புள்ளிபொருளுக்கு புள்ளி படிவத்தைத் தருவதில்லை. மாறாக ஓரியல் மையப் (Concentric) பொலிவு வட்டங்களும் இருள் வட்டங்களும் ஏற்பட்டு விளிம்பு விளைவுப் பாங்கமாக அமைகின்றது. இரண்டு நெருங்கி அமைந்த புள்ளிப் பொருள்களை ஓர் ஒளியியல் தொகுப்பின் மூலம் பார்ப்பதாகக் கொண்டால், அவற்றால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கங்கள் நெருங்கி அமைந்து மேற்பொருந்தலாம். விளிம்பு விளைவுப் பாங்கங்கள் போதுமான அளவு மேற்பொருந்திய நிலையில் அவற் றின் படிவங்களைத் தனித்தனியே பிரித்தறிய இயலாத நிலை ஏற் படுகின்றது. தெளிவாகப் பிரித்தறிய உருப்பெருக்க மதிப்பை அதி கரித்தால் விளிம்பு விளைவு பாங்கங்களின் அளவுகளும் சம அளவில் கூடுகின்றன. ஆகவே, பிரித்தறிய இயல்வதில்லை. எனவே, கருவிகளின் உருப்பெருக்கத் திறனுக்கு எல்லையொன்று அமைகின்றது. அதாவது, பகுதிறன் அற்ற நிலையில் உருப் பெருக்கம் மட்டும் பயனற்றது ஆகின்றது. மேலும், தொலை நோக்கி அல்லது நுண்ணோக்கியைக் கருதுகையில், இரண்டு புள்ளி ஒளி மூலங்கள் ஏற்படுத்தும் விளிம்பு விளைவு பாங்கங்கள் தெளிவாக ஒன்றினின்று மற்றது பிரிக்கப்பட்டிருந்தால், இரண்டு

படிவங்களிலும் தனித்தனியாகத் தெரியும். இதனால் அக்கருவி பகுதிறன் கொண்டது என்று கூறுகின்றோம்.

எனவே, அருகருகே அமையும் இரண்டு புள்ளிப்பொருள்களின் படிவங்களைத் தெளிவாகப் பிரித்தறியச் செய்யும் கருவியொன்றின் திறனை எண் மதிப்பில் குறித்தால், அதுவே அதன் பகுதிறன் ஆகும்.

பட்டக அல்லது விளிம்பு விளைவு கீற்றணி நிறமாலை வரைவுகளில் (Spectrographs), அருகருகே அமையும் இரண்டு நிறமாலை வரிகளின் படிவங்களை அவை பிரித்து தனித்தனி வரிகளாகத் தோன்றுமாறு செய்யும் திறன் அவற்றின் பகுதிறன் ஆகும்.

20·2 பகுப்பு எல்லைக்கான ராலேயின் நிபந்தனை

வட்டத்திறப்பு (Circular aperture) ஒன்றின் மூலம் ஏற்படும் ஃபிரான் ஹோபர் விளிம்பு விளைவு, மையத்தில் அமையும் பொலிவு வட்டையும் அதனையடுத்து இருள், பொலிவு வட்டங்கள் அடுத்தடுத்து அமைந்தும் தோன்றும் பாங்கத்தைக் கொடுக்கின்றது. மையத்தில் அமையும் பொலிவு வட்டு எர்ரி வட்டு (Airy's disc) எனப்படும். படும் ஒளி அலையில் உள்ள 84 % ஒளியானது இந்தவட்டில் மட்டுமே அமைகின்றது. எஞ்சிய ஒளிதான் மற்ற வட்டங்களில் தோன்றுகின்றது. எர்ரி(Airy)—யின் கொள்கைப்படி, அந்த பொலிவு வட்டினைச் சுற்றி அமையும் முதல் இருள் வட்டத்தின் ஆரத்தினை,

$$r = \frac{f\lambda}{D} \qquad \text{——— 1.}$$

என்று எழுதலாம். இங்கு f வில்லையின்குவியத் தூரம்; D திறப்பின் விட்டம்; λ ஒளியின் அலை நீளமாகும்.

படுகதிர்கள் அனைத்தும் ஒருதளத்தில் அமையா தன்மையினைக்கொண்டு ஏர்ரி, ஆரத்தின் மதிப்பினை

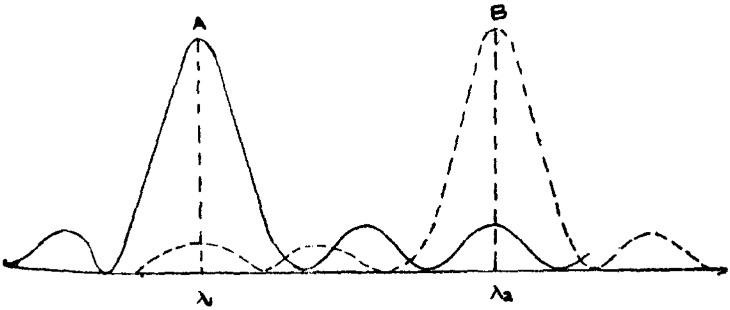
$$r = \frac{1.22\, f\lambda}{D} \qquad \text{——— 2.}$$

என்று திருத்திக் கொடுத்தார்.

ஒளியியல் கருவிகளின் பண்புகள் பெரும்பாலும் வட்டத்திறப்பில் ஏற்படும் இந்த விளிம்பு விளைவு பாங்களாகக் கிடைக்கின்றன. ஒவ்வொரு விளிம்பு விளைவு பாங்கத்திற்கான மையப் பொலிவு வட்டும் தனித்தனியாகப் பிரிந்து இருந்தால் இரண்டு படிவங்களும் தெளிவாகத் தெரியும். அவ்வாறு

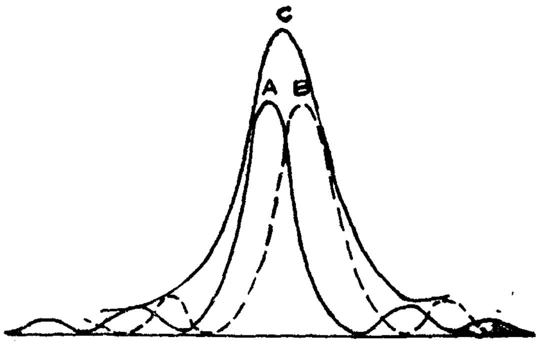
இல்லாமல் மேற்பொருந்திய நிலையில் படிவங்கள் பிரித்தறிய இயலாமல் அமைந்திருந்தால், அவற்றைப் பிரித்தறிய இயலு மாறு அமைக்கும் வகையை ராலே கொடுத்தார். அதன்படி ஒரு விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தின் மையப்பெருமமானது மற்ற விளிம்பு விளைவு பாங்கத்திற்கான முதல் சிறுமத்துடன் (First minimum) பொருந்தி இருக்க வேண்டும். இந்நிலையில் இரண்டு படிவங்களும் பகுத்தறியும் வகையில் பகுப்பு எல்லை (Limit of resolution)-க்குப் பிரிந்துத் தோன்றும்.

இதனைக் கீழ்க் காணும் படங்கள் மூலம் தெளிவுப் படுத்த லாம்.



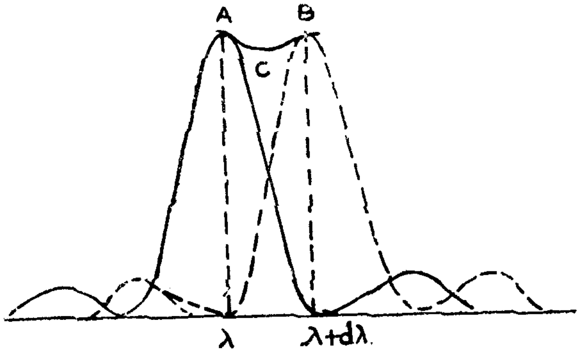
படம் 20.1

படம் 20.1-ல் *A*, *B* என்னும் இரண்டு நிறமாலை வரி களுக்கான பொலிவு (Intensity) வரைகோடுகள் காட்டப்பட் டுள்ளன. இரண்டு வரிகளும் தனித்தனியாக பிரிந்து உள்ளன. படம் 20.2-ல் *A*, *B* இரண்டு வரிகளும் தனித்தனியாக பிரியாத



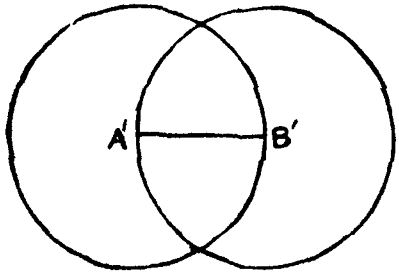
படம் 20.2

நிலையில் ஒரே வரிபோன்று மேற்பொருந்தித் தோன்றும் நிலை காட்டப்பட்டுள்ளது. படம் 20.3-ல் இரண்டு வரிகளும் பிரிந்து தனித்தனியாக தோன்ற ஆரம்பிக்கும் பகுப்பு எல்லை காட்டப்



படம் 20.3

பட்டுள்ளது. இப்படத்தில் *A*-யின் முதன்மைப் பெருமம் *B*-யின் முதன் சிறுமத்துடன் பொருந்தியிருக்கின்றது. அதேப்போன்று *B*-யின் முதன்மைப் பெருமம் *A*-யின் முதல் சிறுமத்துடன் பொருந்தியுள்ளது. இந்நிலைதான் பகுப்பு எல்லையாகும். இது தான் ராலேயின் பகுப்புக்கான நிபந்தனை. மேலும், இரண்டுக்கு மான தொகுபயன் பொலிவு வரைவு (Intensity curve) *C*-யில் குழிவாக அமைந்துள்ளது. *A*-யில் அல்லது *B* யில் உள்ள பொலிவினைவிட 20 % பொலிவு குறைந்து *C* தோன்றும். ஆக, *A*-யினின்று *B*-க்குச் செல்லும்போது, இடை நிலையில் குறிப்பிடத்தக்க அளவு பொலிவு குறைந்துத் தோன்றும். ராலேயின் நிபந்தனையை வேறு விதமாகவும் கூறலாம். பிரித்தறிய வேண்டிய இரண்டு பொருள்களுக்கான இரண்டு விளிம்பு விளைவு பாங்கங்கள் பார்வைப் புலத்தில் தோன்றும். இவ்விரண்டிலும் இரண்டு பொலிவு வட்டங்கள் இருக்கும். இப்பொலிவு வட்டங்களின் மையங்களை *A'*, *B'* எனக் கொண்டால் படம் 20.4-ல் இரண்டு பொருள்களையும் பகுக்கும் வண்ணம் அமைய, மையங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரம் *A' B'* இவை ஒவ்வொன்றின் ஆரத்திற்குச் சமமாக இருந்



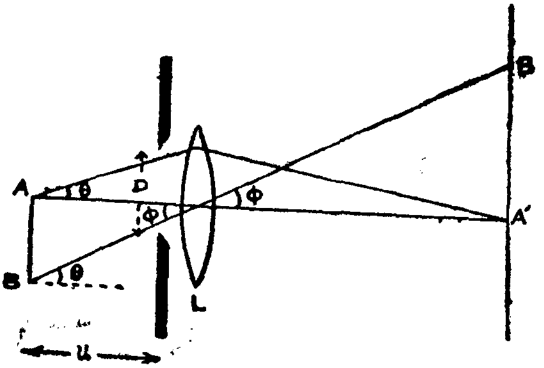
படம் 20.4

தாலும் ராலேயின் நிபந்தனை சரி செய்யப்படும். இதற்கு இந்த மதிப்பு

$$r = \frac{1.22\, f\lambda}{D}$$

என்று இருக்க வேண்டும்.

20.3 குவிவில்லையின் பகுப்பு எல்லை



படம் 20.5

படம் 20.5-ல் A, B என்னும் புள்ளிப் பொருட்களுக்கு வில்லை L ஆனது A', B' என்னும் படிவங்களைத் தோற்றுவித்தல் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. D அளவு விட்டம் கொண்ட வட்டத் திறப்பொன்று வில்லையின் மீது படும் ஒளியினைக் கட்டுப் படுத்துகின்றது. படிவங்கள் A', B' பகுப்பு எல்லையில் அமைந்துத் தோன்றுகின்றன. A' B' என்னும் தொலைவு, இரண்டு படிவங் களையும் சுற்றி அமையும் விளிம்பு விளைவு பாங்குகள் ஒவ் வொன்றிலும் உள்ள முதல் கருமை வட்டத்தின் ஆரத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். இதுதான் பகுப்பெல்லைக்கான ராலேயின் நிபந்தனையாகும். புள்ளிப் பொருள் A-யிலிருந்து வில்லையின் மீது படும் கூம்பு வடிவ ஒளியின் அரை உச்சிக் கோணம் θ எனில்,

$$\sin\theta = \tan\theta = \frac{D/2}{u} \qquad \text{——— 1.}$$

ஆகும். இங்கு u ஆனது வில்லைக்கும் பொருளுக்கும் இடைப் பட்ட தூரம் ஆகும். புள்ளிப் பொருள்கள் A,B இவற்றிற் கிடையேயான தொலைவு Z என்றும், AB வில்லையின் மையத்தில் தாங்கும் கோணம் $\varnothing$ என்றும் கொண்டால்,

$$z = \varnothing u \qquad \text{——— 2.}$$

எனக் கிடைக்கும்.

சமன்பாடுகள் 1 × 2-ஐக் காண

$$z \sin\theta = \frac{\varnothing D}{2}$$

அல்லது, $$z = \frac{\varnothing D}{2 \sin\theta} \qquad \text{——— 3.}$$

வில்லையின் குவியத் தூரம் f எனவும், ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தின் முதல் கருமை வட்டத்தின் ஆரம் r எனவும் கொண்டால்,

$$r = f \varnothing$$

அல்லது, $$\varnothing = \frac{r}{f} \qquad \text{——— 4.}$$

ஆகும்.

$\varnothing$-யின் இந்த மதிப்பை சமன்பாடு 3-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$z = \frac{r D}{2f \sin\theta} \qquad \text{——— 5.}$$

ஆகும்.

ஆனால் ஏர்ரியின் கணக்குப்படி

$$r = \frac{1.22 f\lambda}{D} \qquad \text{——— 6.}$$

ஆகும்.

இந்த r-ன் மதிப்பை 5-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$z = \frac{0.61\lambda}{\sin\theta} \qquad \text{——— 7.}$$

எனக்கிடைக்கும்.

ஊடகத்தின் விலகல் எண் μ எனவும், வெற்றிடத்தில் ஒளியின் அலைநீளம் λ_0 எனவும் கொண்டால்,

$$\mu = \frac{C_0}{C} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

அல்லது, $\lambda = \frac{\lambda_0}{\mu}$

எனவே, $z = \frac{0.61\ \lambda_0}{\mu \sin\theta}$ ——— 8.

சமன்பாடு 8-லிருந்து, ஒளியியல் கருவியொன்றினுல் பகுத்தறியும் வகையில் அமையும் இரு புள்ளிப் பொருள்களுக் கிடைப்பட்ட தொலைவு $\mu \sin\theta$ மதிப்புக்கு எதிர்விகிதத்தில் இருப்பது தெளிவு. இந்த '$\mu \sin\theta$' கருவியொன்றின் 'எண்ணளவு திறப்பு' (Numerical aperture) எனப்படும்.

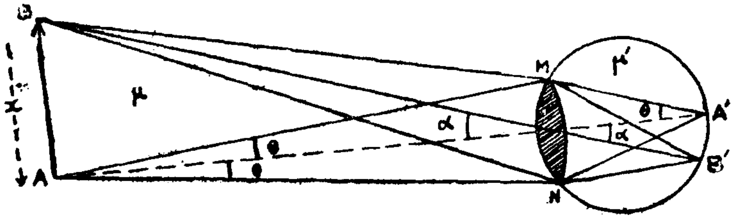
அதாவது எண்ணளவு திறப்பு,

$$N.A = \mu \sin\theta \qquad \text{——— 9.}$$

ஆகும்.

20.4 கண்ணின் பகுதிறன்

கண்ணின் விழித்திரையின் அமைப்புப்படி ஒளிமிக்க பொருளொன்றின் உணர்வு கண்ணில் ஏற்பட, விழித்திரையின் மீது அமைந்துள்ள கூம்புகளில் ஒன்ருவது கிளர்வுறுமாறு ஒளியானது படவேண்டும். ஒரு கூம்பின் மீது கூடப்பட இயலாத வகையில் பொருளானது தொலைவில் அமைந்தோ அல்லது சிறியதாகவோ இருக்குமாலுல், பொருளினுடைய எந்த நுணுக்கத்தையும் கண் உணர இயலாது. இவ்வாறுள்ள பொழுது கண்ணின் பகுதிறன் பொருள்களைப் பிரித்தறியும் அளவுக்கு இல்லை எனலாம்.



படம் 20.6

படம் 20.6-ல் A, B என்பவை தெளிவுப் பார்வை தொலைவான 25 செ.மீக்கு அப்பால் அமைந்துள்ள பொருளொன்றின் கடைப்புள்ளிகள். இவற்றின் படிவளங்களாகிய A', B' என்பவை கண்ணின் விழித்திரையில் அடுத்தடுத்து உள்ள இரு கூம்புகளின்

மீது படுவதினால் தோன்றுகின்றன எனக் கொள்ளலாம். A, B ஆகிய இரு புள்ளிகளும் தெளிவாக, தனித்தனியாக கண்ணினால் உணரப்பட வேண்டுமானால், ஒன்றினால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தின் முதற் பெருமம் அடுத்ததினால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தின் முதல் சிறுமத்துடன் பொருந்த வேண்டும்.

விழிக்கோளத்தின் விட்டம் பெரும்பாலும் 2.5 செ. மீ. அளவு இருக்கும். விழிவில்லையின் திறன்மிக்க திறப்பு (Effective aperture) 2 மி.மீ. ஆகும். விழிவில்லைக்கும் விழித்திரைக்குமிடையில் அமைந்துள்ள கண் திரவம் (Viterous humour) 1.33 விலகல் எண் கொண்டதாகும். பார்க்கப்படும் பொருள்கள் பெரும்பாலும் காற்றில் அமைந்து வெள்ளொளியால் ஒளியூட்டப்படுகின்றன. கண்ணில் அதிக உணர்வை ஏற்படுத்தும் அலை நீளப்பகுதி $\lambda = 5.5 \times 10^{-5}$ செ. மீ. ஆகும். படம் 20.6-லிருந்து கண்ணின் விழிவில்லையின் மூலம் அனுப்பப்படும் கூம்பு ஒளியின் கோணத்தில் பாதிமதிப்பு θ எனவும், கண்ணின் திறப்பு ஆரம் $R = 1$ மி. மீ. என்றும், தெளிவுப் பார்வை தூரம், $u = 25$ செ. மீ, எனவும் கொண்டால்,

$$\sin \theta = \frac{R}{u}$$

$$= \frac{1}{250}$$

$$= 0.004 \text{ ஆகும்.}$$

ராலேயின் பகுதிறனுக்கான நிபந்தனையின்படி கண்ணிலிருந்து 25 செ.மீ. தொலைவில் அமைந்துள்ள இரண்டு பொருள்கள் பகுத்துணரும் வகையில் நெருங்கி அமையக்கூடிய தொலைவு x எனில்,

$$x = \frac{0.61\lambda}{\text{எண்ணளவு திறப்பு}}$$

$$= \frac{0.61 \times 5.5 \times 10^{-5}}{0.400}$$

$$= \frac{1}{10} \text{ மி. மீ}$$

இதைப் போன்று கண்ணின் விழித் திரையின் மீது அமையும் இரு படிவங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரம் x' எனில்,

$$x' = \frac{0.61\,\lambda_0}{\mu' \sin\theta'}$$

$$= \frac{0.61 \times 5.5 \times 10^{-5}}{1.33 \times 0.04} \quad \left[\because \sin\theta = \frac{1}{25} = 0.04\right]$$

$$= \frac{1}{1{,}000}$$ செ. மீ. (தோராயமாக)

$$= \frac{1}{100}$$ மி.மீ.

மேலும், $\sin\alpha = \frac{0.61\,\lambda_0}{\mu r}$

$$= \frac{0.61 \times 5.5 \times 10^{-5}}{1 \times 0.1} \quad [D = 0.2 \text{ மி.மீ.}]$$

= 0.00034 ரேடியன்

= 1' (செகண்ட் தோராயமாக)

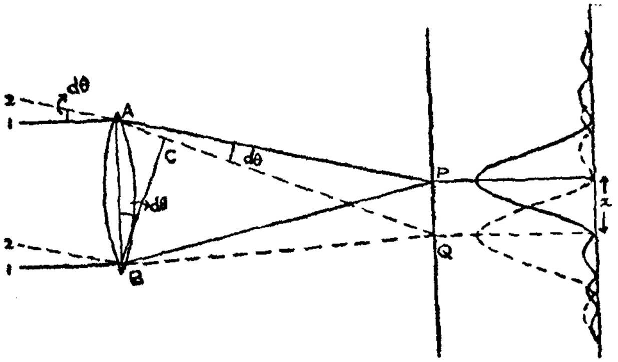
எனவே, தொலைவில் அமைந்துள்ள இரு பொருள்கள் 1' அளவு கொண்ட வில் (...c) ஒன்றை கண்ணில் தாங்க வேண்டும். இந்த மதிப்பானது, ஒன்றுக்கொன்று 1 செ. மீ. இடைவெளியுடன் கண்ணிலிருந்து 30 மீட்டர் தொலைவில் அமைந்துள்ள இரு பொருள்கள் கண்ணில் தாங்கும் கோணம் ஆகும். இவ்வாறு அமைந்துள்ள இரு பொருள்களிலிருந்து வரும் கதிர்கள் விழித்திரையின் மீது அடுத்தடுத்து அமைந்துள்ள கூம்புகளின் மீது விழுவதாகக் கொள்ள வேண்டும். அதாவது, இரு கூம்புகளுக்கிடைப்பட்ட இடைவெளி $x' = 0.1$ மி. மீ. அளவு இருக்க வேண்டுமென்பது தெளிவு. எனவே, தெளிவுப் பார்வை தொலைவில் (25 செ. மீ) அமையும் இரு பொருள்களைத் தனித் தனியாகப் பிரித்து காணுதலுக்கு அவைகளுக்கிடைப்பட்ட தூரம் 0.01 செ. மீ. ஆகும்.

20.5 தொலைநோக்கியின் பகுதிறன்

தொலைநோக்கியில் படிவம் ஏற்படுகையில், அதன் பொருளருகு வில்லை வட்டத் திறப்பொன்றினைப் போன்று

செயல்படுகின்றது. இதனால் விண்மீன்கள் போன்ற தொலை பொருள்களை பார்க்கும்பொழுது படிவப் புலத்தில் ஃபிரான் ஹோபர் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம் ஏற்படுகின்றது. விளிம்பு விளைவுப் பாங்கத்தின் மையத்தில் ஏர்ரி பொலிவு வட்டும், அதனை யடுத்து இருள் பொலிவு வட்டங்கள் மாறி மாறி அமைந்தும் தோன்றுகின்றன.

தொலைவில் அருகருகே அமைந்துள்ள இரண்டு விண்மீன்கள் S_1, S_2. இவற்றை நோக்குவதற்கு தொலைநோக்கியைப் பயன் படுத்துவதாகக் கொள்வோம். பொருளருகு வில்லையானது குவிதளத்தில் புள்ளிப் படிவங்களை ஏற்படுத்துவதில்லை; மாறாக படம் 20.7-ல் உள்ளவாறு ஃபிரான் ஹோபர் விளிம்பு விளைவுப் பாங்கங்களை ஏற்படுத்துகின்றது. இந்தப் பாங்கங்கள் ஒன்றுக்



படம் 20.7

கொன்று நெருங்கி அமைந்துள்ளதுடன் அதிக அளவில் மேற் பொருந்தியும் தோன்றுகின்றன மிகுந்த அளவில் மேற்பொருந் துதல் ஏற்பட்டிருக்குமானால், அவ்விரு விண்மீன்களையும் தனித் தனியாக பிரித்தறிய தொலை நோக்கியால் இயலாது. ராலேயின் பகுதிறன் நிபந்தனையின்படி, ஒரு பாங்கத்தின் முதன்மைப் பெருமம் மற்றதின் முதல் சிறுமத்துடன் பொருந்துமாறு அமைந் திருந்தால் அவை தனித் தனியாகத் தோன்றும். அவ்விரு விண் மீன்களும் பொருளருகு வில்லை (Objective lens)-யில் $d\theta$ கோணத் தைத் தாங்குவதாகக் கொள்வோம். படம் 20.7-ல் 1,1 எண் ணிட்ட கதிர்கள் விண்மீன் S_1-லிருந்தும், 2, 2 எண்ணிட்ட கதிர் கள் S_2-லிருந்தும் வருவதாகக் கொள்வோம். S_1-ஆல் ஏற்படுத்தப் படும் பாங்கத்தின் மையம் P-யில் அமைந்து மற்ற இருள் பொலிவு வட்டங்களுடன் தோன்றும். S_2-ஆல் ஏற்படுத்தப்படும் பாங் கத்தின் மையமும் Q-வில் அமைந்து மற்ற அடுத்தடுத்த இருள் பொலிவு வட்டங்களைச் சுற்றிலும் கொண்டுள்ளது.

ராலேயின் நிபந்தனையின்படி P-யும் Q-வும் தனித்தனியாக இருக்க, P-யின் முதன்மைப் பெருமம் Q-வின் முதல் சிறுமத்துடன் பொருந்த வேண்டும். இதனையே மாற்று முறையில் 1, 1 எண்ணிட்ட கதிர்கள் விலகலுக்குப் பின்னர் ஏற்படுத்தும் அலைமுகப்பானது 2, 2 எண்ணிட்ட கதிர்கள் படுஅலைமுகப்புடன் பொருந்த வேண்டும். அதாவது, BC-யானது AC-க்குக் குத்தாக இருக்கும்போது ஏற்படும் பாதை வேறுபாடு $AC = \lambda$ என்றிருக்க வேண்டும். இந்நிலையில் இணைக்கற்றைகளான 1, 1 இவற்றால் ஏற்படும் முதல் சிறுமம் Q-வில் உண்டாகும். இதேப் புள்ளி Q-வில்தான் கற்றைகள் 2, 2-ஆல் உண்டாக்கப்படும் முதன்மை மையப் பெருமம் உண்டாகும். S_1-லிருந்து வரும் தளஅலை முகப்பை AO, OB என்று இருபாகங்களாக பிரிப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். இரு பாதிகளிலும் அமையும் ஒத்த புள்ளிகளுக்கிடையே $\lambda/2$ அளவுப் பாதை வேறுபாடு இருக்கும். எனவே, குறுக்கீட்டு விளைவு மூலம் ஒன்றினை ஒன்று அழிப்பதினால் Q-வில் முதல் சிறுமம் உண்டாகும்.

எனவே, $AC = AB \sin d\theta$

$= D \sin d\theta$

$= D\, d\theta$ ($d\theta$ குறைந்த மதிப்பு கொண்டிருப்பதால்)

இங்கு, D பொருளருகு வில்லையின் விட்டமாகும். விண்மீன்களைத் தனித்தனியாக பிரித்தறிய நிபந்தனை,

$$D\, d\theta = \lambda$$

அல்லது, $d\theta = \dfrac{\lambda}{D}$ ஆகும்.

தொலைநோக்கிக்கு இந்த $d\theta$ மதிப்பானது பகுப்பு எல்லைக் கோணமாக அமைகின்றது. இந்த மதிப்பின் சரியான அளவானது $d\theta = \dfrac{1.22\lambda}{D}$ ஆகும் ஆனால் பகுப்பு எல்லைக்கோணத்தின் தலைகீழ் விகிதம் $\left(\text{அதாவது} \dfrac{1}{d\theta}\right)$ தொலைநோக்கியின் பகுதிறன் ஆகும்.

எனவே, தொலைநோக்கியின் பகுதிறன்,

$$= \frac{1}{d\theta} = \frac{D}{1.22\,\lambda} \text{ ஆகும்.}$$

இச்சமன் பாட்டினின்று பிரிகைக் கோணம் '$d\theta$' குறைவாக இருந்தால் தொலைநோக்கியின் பகுதிறன் மிக அதிகமாக இருக்கும் என்பது தெளிவு. மாருக, தொலைநோக்கியின் பகுதிறன் மிக அதிகமாக இருந்தால் குறைந்த பிரிகைக் கோணம் கொண்ட இரு புள்ளி ஒளி மூலங்களைப் பிரிக்க வல்ல வகையில் சிறப்பு மிக்கதாக தொலைநோக்கி அமையும். மேலும், பகுதிறன் சமன்பாட்டின்படி பொருளருகியின் விட்டம் அதிகரித்தால் பகுதிறன் கூடுகிறது. இதனுல் பொருளருகு வில்லைக்கு அதிக விட்டம் கொண்டதும், குறைந்த விட்டம் கொண்டதுமான சம உருப்பெருக்கம் கொண்ட இரண்டு தொலை நோக்கிகளால் அதிக விட்டம் கொண்டது பகுக்கும் இரண்டு விண்மீன்களை, குறைந்த விட்டம் கொண்டது பகுக்க இயலாத நிலை ஏற்படலாம். இதனுல் அதிக விட்டம் கொண்ட பொருளருகு வில்லைகளைப் பயன்படுத்துதல் அவசியம் என்பது தெளிவு. இதனுலேயே வானியல் ஆராய்ச்சிகளில் விலகல் வகை தொலைநோக்கிகளைவிட எதிரொளிப்பு வகை தொலை நோக்கிகள் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. படிவக் குறைபாடுகளை நீக்கும் வகையில் மிக அதிக அளவு விட்டம் கொண்ட எதிரொளிப்புப் பரப்புகளை அமைக்க இயலும். இந்த வகை தொலை நோக்கிகளைப் பற்றி 'ஒளியியலும் நிறமாலையியலும் பாகம் 1, பகுதி 9-17'-ல் பார்த்துள்ளோம்.

அடுத்து கண்ணினுல் மட்டும் ஆய்வதற்காக அமைக்கப்படும் தொலைநோக்கிகளை கண்ணின் பகுதிறனை விட அதிக பகுதிறன் கொண்டவைகளாக அமைப்பது தேவையற்றது ஆகும். அதாவது கருவிகளை அமைக்கும்போது கண்ணின் பகுதிறனின் சரியான மதிப்பினைக் கருத்தில் கொண்டு அமைக்க வேண்டும். பொதுவாக தொலைநோக்கியின் பகுதிறன் அதன் பொருளருகி யின் விட்டத்தைப் பொருத்துள்ளது. அதன் உருப்பெருக்கத்திற் காக கண்ணருகு வில்லை அமைக்கப்படுகின்றது. இந்த மொத்த உருப்பெருக்கம் கண்ணின் பகுதிறனுடன் பொருந்தி, பொருள் களைச் சரியான அளவுக்குப் பார்த்துத் தெளிவாகக் காட்டுமாறு இருக்கும்படி அமைத்தல் வேண்டும். தேவைக்கு அதிகமான உருப் பெருக்கம் இருக்குமாளுல் எளிதில் பார்க்க இயலுமேயல்லாது, பொருள்களைப் பற்றிய அதிகமான விளக்கங்களைப் பெற இயலாது.

உதாரணமாக 1 மீட்டர் விட்டம் கொண்ட பொருள ருகியின் மீது $\lambda = 5{,}000$ ஆ. அ. அலை நீளம் கொண்ட ஒளி படுவ தாகக் கொண்டால் ஏற்படும் பகுதிறன் எல்லைக் கோணம்,

$$d\theta = \frac{1.22\lambda}{D} = \frac{1.22 \times 5{,}000 \times 10^{-8}}{100}$$

$$\simeq 6 \times 10^{-7} \text{ ரேடியன்}$$

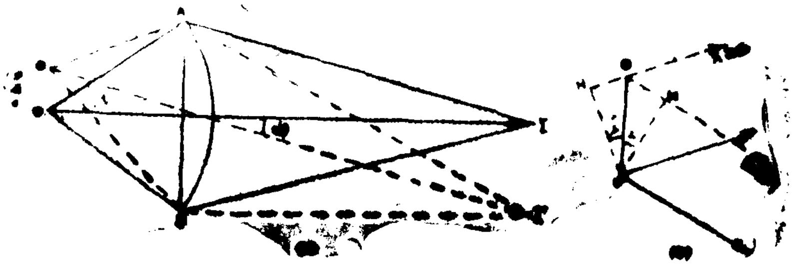
$$\simeq \frac{1}{8} \text{ செகண்ட்.}$$

கண்ணின் பகுதிறனுக்கான எல்லைக் கோணம் 1 மினிட் (Minute). எனவே, தொலைநோக்கியில் பயன்படும் கண்ணருகித் தொகுப்பு, பொருளருகி ஏற்படுத்தும் படிவத்தை 480 மடங்கு $\left[\frac{1' \times 60}{1/8_{0}(\text{Sec})} = 480\right]$ உருப்பெருக்க வேண்டும். இல்லாவிடில் தொலைநோக்கியானது இரண்டு தூரப் பொருள்களை பிரித்துக் காட்டினாலும், கண் பிரித்தறியாது.

20.6 நுண்ணோக்கியின் பகுதிறன்

நுண்ணோக்கியினால் காணும் பொழுது, பிரித்தறியும்படி இரண்டு பொருள்கள் எவ்வளவு குறைந்த நீளம் இடைவெளி கொண்டு அமையலாம் என்பதைக் கண்க்கிடுதலில் அதன் பகுதிறன் உள்ளது. தொலைநோக்கியில் பகுப்பு எல்லை கோணப் பிரிகை, அதன் பகுதிறனைக் கணக்கிட உதவுகின்றது. நுண்ணோக்கியின் பகுப்பு எல்லை இருபொருள்கள் அருகருகே நெருங்கி அமைந்தும் தனித்தனியாக பிரித்தறியும் நிலையில் உள்ள பொழுது அவைகளுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு என வரையறுக்கலாம். இந்தப் பகுப்பு எல்லையின் தலைகீழ் விகிதம் நுண்ணோக்கியின் பகுதிறன் ஆகும்.

படம் 20. 8 (a)-இல் O, O′ என்னும் தன் ஒளி கொண்ட கொண்ட பொருள் மிகவும் நெருங்கி அமைந்துள்ளவை எனக் கொள்வோம். மேலும், அவை பொருளருகி L-க்கு மிகவும் அருகில் அமைந்துள்ளன எனக் கொள்வோம். பொருள் O-வுக்கு வில்லை L ஆனது I என்னும் படிவத்தைக் கொடுக்கும். ஆனால், I ஆனது ஒரு விளிம்பு விளைவு பாங்கமாகத்தான் இருக்கும். இதேப் போன்று I' ஆனது O′-க்கு உண்டாகும் மற்றொரு விளிம்பு விளைவு பாங்க வடிவம் OO′ தொலைவின் மதிப்பு d எனக் கொள்வோம். பகுப்பு எல்லைக்கான ராலேயின் நிபந்தனையின்படி உண்டாகும் படிவங்கள் இரண்டும் பிரித்தறியுமாறு அமைய, ஒரு விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தின் மையப் பெருமமும் அடுத்ததின்



முதல் சிறுமமும் ஒன்றாக அமையுமாறு அமைய இங்கு, தொலைவில் அமைந்துள்ள பொருள்களைப் பிரித்தறியும் வகையில் அமைய I'-ல் மையம் கொண்டுள்ள விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தின் முதல் சிறுமம் I-இன் வழியாகச் செல்ல வேண்டும். அதாவது, O'-இனால் தோன்றும் விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தின் முதல் சிறுமம், O-வினால் உண்டாகும் விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தின் முதல் பெருமத்தில் அமைவதற்கான நிபந்தனையைக் காணவேண்டும்.

இந்த நிலை ஏற்பட, O'-லிருந்து புறப்பட்டு A, B புள்ளிகளில் விலகலுக்குப் பிறகு I-யில் குவியும் எல்லைக் கதிர்களுக்கிடைப்பட்ட பாதை வேறுபாட்டின் மதிப்பு λ ஆக இருக்க வேண்டும். அதாவது, $O'BI - O'AI = \lambda$. O, O' இருபுள்ளிப் பொருள்களிலிருந்தும் வில்லையின் மீது A,B புள்ளிகளைச் சேரும் கதிர்களின் உருப்பெருக்க வடிவு படம் 20.8 (b)-யில் காட்டப்பட்டுள்ளது. $O'B$-யானது OB-ஐ விட $O'N$ அளவு அதிக நீளம் கொண்டது. மேலும், $O'N = OO' \sin i$ ஆகும். இங்கு, கோணம் i ஆனது, புள்ளிப் பொருள்கள் O-விலிருந்து பொருளருகு வில்லை L-ன் மீது படும் கூம்புக் கதிர்களின் பாதிக் கோணம் (Semi vertical angle of the con) ஆகும்.

ஆனால், $O'A$ OA-வை விட $O'M (= OO' \sin i)$ அளவு சிறியது எனவே, $O'M = d \sin i$ ஆகும். இதனால் $O'BI$, $O'AI$ ஐ விட,

$$(O'N + O'M) = 2d \sin i \qquad \text{——— 1.}$$

அளவு நீளமானதாகும்.

I'-ஐ மையமாகக் கொண்ட விளிம்பு விளைவு பாங்கத்தின் முதல் சிறுமம் I-யில் இருக்க வேண்டுமெனில், $2d \sin i = 1.22\lambda$ என்று இருக்க வேண்டும். ஆகவே, பிரித்தறியும் வகையில் அமையக்கூடிய இரு பொருள்களுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு,

$$d=\frac{1.224\lambda}{2\sin i} \qquad \text{——2}$$

பொருளுக்கும், பொருளருகிக்கும் இடையே விலகல் எண் μ அளவு கொண்ட திரவம் இருப்பதாகக் கொண்டால்; λ-வானது, $\frac{\lambda}{\mu}$ என ஆகும்.

$$\text{எனவே, } d=\frac{1.22\lambda}{2\mu\sin i} \qquad \text{——2}$$

ஆகும்.

இச் சமன்பாட்டைப் பெறுதலுக்கு O, O' இரண்டும் தன்னொளி படைத்த ஒளி மூலங்கள் என்றும், அவை ஓரியல் மூலங்கள் (Cohere t sources) அல்ல என்றும் கொள்கின்றோம். பொதுவாக நுண்ணோக்கிகளைப் பயன்படுத்துகையில் பொருள்களைக் காண்பதற்கு வில்லை மூலம் ஒளியைக் குவித்தோ, அல்லது ஆடி மூலம் எதிரொளிக்கச் செய்தோ நன்கு ஒளியூட்டுகின்றோம். இதனால் பொருளின் பல புள்ளிகளில் கருதுகையில் அங்குள்ள அலைகளுக்குள் ஒரு கட்டத் தொடர்பு உள்ளது. இதனைச் சரி செய்யும் பொருட்டு அபே (Abde) பல திருத்தங்களினைக் கருத்திற்கொண்டு குறைந்த அளவு இருக்கக்கூடிய தொலைவுக்கு சமன்பாடு 3-லிருந்து 1.22-வை நீக்கிவிட்டு,

$$d=\frac{\lambda}{2\mu\sin i}$$

என்று சமன்பாட்டை திருத்திக் கொடுத்தார். இங்கு '$\mu\sin i$'-ஐ 'எண்ணளவு திறப்பு' (Numerical aperture) என்று அபே குறிப்பிட்டார். நுண்ணோக்கியின் பொருளருகு வில்லைகள் இந்த அலகு மூலம்தான் குறிப்பிடப்படுகின்றன.

தன்னொளி அற்ற பொருள்களைப் பார்க்கும் பொழுது, நுண்ணோக்கியின் பகுப்பு எல்லை,

$$d=\frac{\lambda}{2\mu\sin i}=\frac{\lambda}{2(N.A)} \qquad \text{——4.}$$

எனக் குறிக்கலாம்.

பகுதிறன், பகுப்பு எல்லையின் தலைகீழ் விகிதமாகையால் நுண்ணோக்கியின் பகுதிறன்,

$$\frac{1}{d} = \frac{2\mu \sin i}{\lambda} = \frac{2(N.A)}{\lambda} \qquad \text{——5.}$$

எனவே, எண்ணளவுத் திறப்பு (N.A) அதிகமாக இருந்தால் d யின் மதிப்பு குறைவாக இருக்கும். அதாவது. வில்லை மீது அதிக அளவு பகுதிறன் கொண்டதாக உள்ளது.

உதாரணமாக $N.A = 1.6$; $\lambda = 5{,}300\times10^{-8}$ என்னும் மதிப்புக்களைக் கொண்டு d ஐக் கணக்கிட்டால்,

$$d = \frac{\lambda}{2(NA)} = \frac{5{,}300\times10^{-5}}{2\times1.6} = 1.7\times10^{-5} \text{ செ. மீ}$$

இந்த d-யின் மதிப்பு கிட்டதட்ட பயன்படும் ஒளியின் அலைநீளத்தில் மூன்றில் ஒரு பங்கு ஆகும். இன்னும் குறைந்த அலைநீளம் கொண்ட ஒளியைப் பயன்படுத்தினால் d யின் மதிப்பு இன்னும் குறையும். புறஊதா தொலைநோக்கினால் $\lambda = 4{,}000$ ஆ; அ. முதல் 2,000 ஆ. அ. கொண்ட கதிர்கள் பயன்படுத்தப் படுவதால் பகுதிறன் மிகவும் கூடுதலாக உள்ளது.

தொலை நோக்கியில் பார்த்ததைப் போன்று இங்கும் கண்ணால் பார்த்து அளவீடுகளை எடுக்கப் பயன்படுவது நுண்ணோக்கி எனில், கண்ணின் பகுதிறனுக்கு ஒப்ப நுண்ணோக்கியின் உருபெருக்குத் திறன் இருத்தல் அவசியம். கண்ணின் பகுப்பு எல்லைக் கோணம் 1.5′ எனில், தெளிவுப் பார்வை தூரமான 25 செ. மீ., தொலைவில் வைக்கப்படும். 1.1×10^{-2} செ.மீ இடைவெளியில் அமைந்துள்ள இரு பொருள்களைப் பார்த்தறிய இயலும் அளவு பகுதிறன் கொண்ட நுண்ணோக்கிக்கு இருக்க வேண்டிய உருப்பெருக்குத் திறன்.

$$= \frac{1.1\times10^{-2}}{1.7\times10^{-5}}$$

$$\simeq 650 \text{ (கிட்டதட்ட)}$$

கண் மூலம் மட்டும் அளவீடுகளை எடுக்கப் பயன்படுத்தப் படும் நுண்ணோக்கிகளில் இந்த மதிப்புக்கு மேற்கொண்ட உருப்பெருக்கம் தேவையற்றதாகும்.

20.7 கீற்றணியின் பகுதிறன்

கீற்றணியானது ஒன்றுக்கொன்று சில ஆங்ஸ்ட்ராம் அலை நீளங்களே வேறுபாடு கொண்டு அமையும் நிறமாலை

வரிகளை பிரித்தறியச் செய்யும் திறன் கொண்டது ஆகும். எனவே, அதன் நிறமாலையிடல் பகுதிறனை அதனால் பிரிக்க இயலும் இருவரிகளின் அலை நீளங்களுக்கு இடைப்பட்ட அலைநீள எண்ணிக்கை $d\lambda$-வைக் கொண்டு வரையறுக்கலாம். இரண்டு வரிகளுக்கான சராசரி அலைநீளம் λ என்றும், வரிகளுக்கிடைப் பட்ட அலைநீள வேறுபாடு $d\lambda$ என்றும் கொண்டால் $\frac{\lambda}{d\lambda}$ அதன் பகுதிறன் ஆகும்.

$$\therefore \text{பகுதிறன்} = \frac{\lambda}{d\lambda}$$

$$= \frac{\lambda}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{d\lambda} \qquad \text{——— 1}$$

இச்சமன்பாட்டில் $\frac{d\theta}{d\lambda}$ வின் மதிப்பையும் $\frac{\lambda}{d\theta}$ வின் மதிப்பையும் காண இயலும்.

விளிம்பு விளைவு கீற்றணி ஒன்றின் சமன்பாடு

$$(a+b)\sin\theta = n\lambda \qquad \text{——— 2}$$

ஆகும்.

சமன்பாடு 2-ன் பகுளி காண,

$$(a+b)\cos d\theta = n d\lambda$$

எனக்கிடைக்கும்.

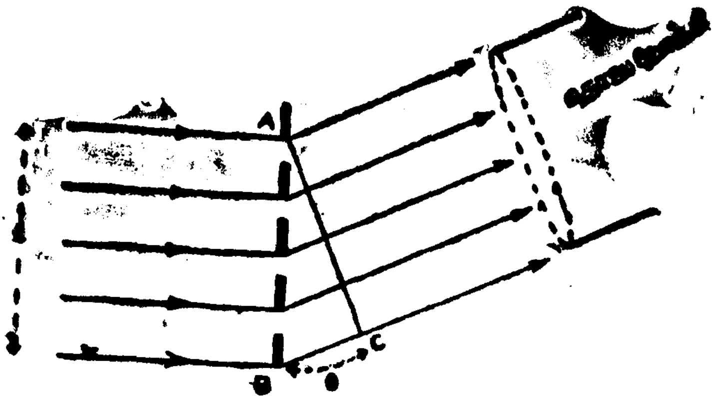
$$\text{எனவே,}\quad \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n}{(a+b)\cos\theta} \qquad \text{——— 3}$$

இங்கு, ஒன்றுக்கொன்று $d\lambda$ அலை நீள வேறுபாடு கொண்ட விளிம்பு விலகல் அடையும் ஒளிக்கற்றைகளுக்கிடைப்பட்ட கோணம் $d\theta$ ஆகும்.

படம் 20.9-ல் நிறமாலை மானியில் அமைக்கப்பட்டுள்ள கீற்றணியில் விளிம்பு விலகல் அடைந்து தொலைநோக்கியின் பொருளருகியை நோக்கிச் செல்லும் கதிர்கள் காட்டப்பட்டுள்ளன. பொருளருகியின் முழுப்பரப்பிலும் கதிர்கள் படும் பொழுது கதிரின் அகலமானது வில்லையின் விட்டம் D-க்குச் சமமாகின்றது. ஆனால், தொலை நோக்கியின் பகுதிறனுக்கான எல்லைக்கோணம்.

$$d\theta = \frac{\lambda}{D} \qquad \text{——— 4.}$$

ஆகும்.



படம் 20.9

படத்திலிருந்து $D = AB \cos\theta$ என்பது தெளிவு. பயன்படும் கீற்றணியின் நீளம் l எனில்,

$$D = l\cos\theta \qquad \text{——— 5.}$$

$$\therefore \quad d\theta = \frac{\lambda}{l\cos\theta} \qquad \text{——— 6.}$$

அல்லது $$\frac{\lambda}{d\theta} = l\cos\theta \qquad \text{——— 7}$$

எனவே, சமன்பாடுகள் 1, 3, 7 இவைகளிலிருந்து,

$$\text{பகுதிறன்} = l\cos\theta \times \frac{n}{(a+b)\cos\theta}$$

$$= \frac{nl}{(a+b)} \qquad \text{——— 8}$$

கீற்றணியின் ஒரு பகுதியின் அகலம் $(a+b)$ ஆகையால், l செ. மீ நீளமுள்ள கீற்றணியில் அமையும் மொத்த பகுதிகளின் எண்ணிக்கை N எனில் (1 செ. மீ.-ல் உள்ள எண்ணிக்கை அல்ல)

$$N = \frac{l}{(a+b)} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே; பகுதிறன் (R.P) = nN ——— 9

ஆகும்.

இச்சமன்பாட்டின்படி ஒரு செ. மீ. நீளத்தில் 5,000 வரிகள் கொண்டும், செ. மீ. நீளமும் கொண்ட கீற்றணியில் முதல் வரிசைக்கு ($n = 1$) அதன் பகுதிறன் மதிப்பு 5,000 ஆகும். ($10 \times 5{,}000 = N$ மொத்த வரிகள்)

மேலும், சோடியம் ஆவி விளக்கில் கிடைக்கும் D_1, D_2 வரிகளினைப் பகுத்துணர்த்தும் வகையில் கீற்றணியொன்று அமைய தேவையான பகுதிறன் மதிப்பை கணக்கிடுதலும் பயனுள்ளதாக இருக்கும். D_1, D_2 இவற்றின் சராசரி அலைநீளம் $\lambda = 5{,}893 \times 10^{-5}$ செ.மீ. $d\lambda = 6 \times 10^{-8}$ செ.மீ. ஆகும். இந்த D_1, D_2 வரிகளை பகுத்துணர்த்த கீற்றணியின் பகுதிறன்,

$$= \frac{5{,}893 \times 10^{-8}}{6 \times 10^{-8}}$$

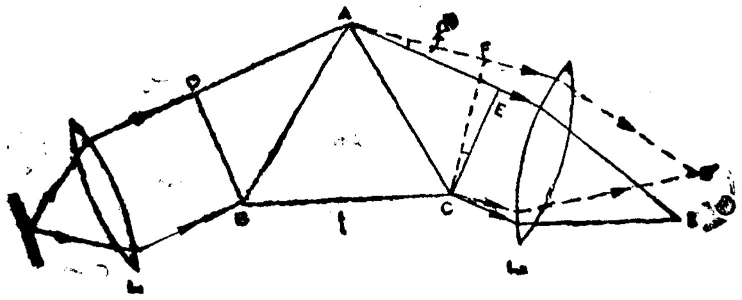
$$= 982 \text{ அல்லது } 1{,}000 \text{ (தோராயமாக)}$$

இருந்தால் போதுமானதாகும்.

20.8 பட்டக நிறமாலையின் பகுதிறன்

அடுத்தடுத்து அமைந்து சில ஆங்கில்ட்ராம் அலகு அலை நீளங்களை வேறுபாடு கொண்டு அமையும் இரண்டு நிறமாலைவரிகளைப் பிரித்து தெளிவாகத் தோன்றச்செய்யும் ஆற்றலே பட்டகமொன்றின் பிரிதிறன் எனப்படும். பட்டகத்தின் இந்த மதிப்பு $\lambda/d\lambda$ எனக் குறிக்கப்படும். λ அலை நீளத்தில் அடுத்தடுத்து நெருங்கி அமைந்துள்ள இரு நிறமாலை வரிகள் தெளிவாகப் பிரிந்து தோன்றுமாறு உள்ள நிலையில், அலைவகளுக்கிடைப்பட்ட சில ஆ. அ. அலைநீள வேறுபாடு ($d\lambda$) பட்டகத்தின் பகுப்பு எல்லை எனப்படும்.

படம் 20.10-ல் ABC பட்டகத்தின் குறுக்குவெட்டு தோற்றமெனக்கொள்வோம். ஒளிமூலமொன்றிலிருந்து λ, $\lambda + d\lambda$ அலை நீளங்கள் கொண்ட ஒளி, குவிவில்லை L_1 வழியாக, விலகலுக்குப் பின்னர் இணைக்கதிர்களைக் கொடுப்பதாகக் கொள்வோம். இதனால் பட்டகத்தின் AB பக்கத்தின் மீது படும் அலை முகப்பு தள அலை முகப்பாக இருக்கும். BD-ஐ படும் தள அலை முகப்பாகக் கொள்வோம். பட்டகத்தின் வழியாகச் செல்லும் பொழுது λ அலைநீளம் கொண்ட அலைகளும், $\lambda + d\lambda$ அலைநீளம் கொண்ட அலைகளும் வெவ்வேறு அளவுக்கு விலகல் அடைகின்றன. λ அலைகளுக்கு AC பக்கத்தில் CE வெளிவரும் அலை முகப்



படம் 20.10

பாகவும், $\lambda+d\lambda$ அலைகளுக்கு CF அலை முகப்பாகவும் உள்ளன. பட்டகம் முழுவதிலுமாக ஒளி பரவுவதாகக் கொள்கிறோம். தொலைநோக்கியின் பொருளருகி L_2, I, I' இரண்டு இடங்களிலும் முறையே அலை முகப்புகள் CE, CF, இவற்றிற்கு ஆன படிவங் களைத் தோற்றுவிக்கின்றது.

பட்டகத்தின் விலகல் எண் μ எனவும், அலைநீளம் λ எனவும் கொண்டால், பெர்மாட் தத்துவப்படி,

$$DA+AE = \mu \times BC \qquad \text{——— 1.}$$

அலைநீளம் அ கரித்தால் விலகல் எண்ணின் மதிப்பு குறையும். எனவே, $\lambda+d\lambda$ அலைநீளக்கதிர்களுக்கு விலகல் எண் $(\mu-d\mu)$ ஆக இருக்கட்டும்.

எனவே, $(\lambda+d\lambda)$-க்கு,

$$DA+AF = (\mu-d\mu)\ BC \qquad \text{——— 2.}$$

ஆகும்.

சமன்பாடுகள் (2 – 1)-ஐக்காண

$$AE-AF = d\mu.\ BC$$

$$\text{அல்லது } EF = 1.d\mu \qquad \text{——— 3.}$$

இங்கு, BC பட்டகத்தின் அடிப்பக்க தடிமம் l ஆகும்.

d என்பது விலகலடைந்த அலைமுகப்பின் அகலமாகவும் தொலைநோக்கியின் பொருளருகியின் விட்டமுமாக இருக்கு மானால்,

$$EF = d.d\theta \qquad \text{——— 4}$$

எனவே, சமன்கள் 3, 4 இவைகளிலிருந்து

$$d.d\theta = 1.d\mu \qquad \text{——— 5}$$

பயன்படும் தொலைநோக்கியின் பகுப்பு எல்லைக் கோணம் $d\theta$ எனில்,

$$d\theta = \frac{\lambda}{d} \qquad \text{——— 6.}$$

அல்லது, சமன்பாடு 6-ன் படி

$$d\frac{\lambda}{d} = 1.d\mu$$

அல்லது, $\lambda = 1.d\mu$

$$\therefore \quad \frac{\lambda}{d\lambda} = l\,\frac{d\mu}{d\lambda}$$

அல்லது, $$d\lambda = \frac{\lambda}{1\left(\frac{d\mu}{d\lambda}\right)} \qquad \text{——— 7.}$$

சமன்பாடு 7-ல் உள்ள மதிப்பு சிறும திசை மாற்ற நிலையில் பட்டகம் பிரித்தறியக் கூடிய இடைவெளியாகும். இது அலை நீளத்திற்கு நேர்விகிதத்திலும், பட்டகத்தின் அடிப்பக்க அகலத்திற்கும், வாட்டம் $\frac{d\mu}{d\lambda}$-க்கு எதிர் விகிதத்திலும் உள்ளது.

காச்சி (Cauchy) கொடுத்த நிறப்பிரிகை சமன்பாட்டின்படி

$$\mu = A + \frac{B}{\lambda^2} \text{ ஆகும்.}$$

இங்கு, A, B காச்சி மாறிலிகள் எனப்படும்.

பகுதிக் காண, $$\frac{d\mu}{d\lambda} = -\frac{2B}{\lambda^3} \qquad \text{——— 8}$$

ஆகும்.

பகுதிறன்,

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = l\,\frac{d\mu}{d\lambda}$$

$$= l\left(\frac{-2B}{\lambda^2}\right)$$

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = 2\,\frac{Bl}{\lambda^3}\ (\text{எண்ணளவில்})$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து பகுதிறன் பட்டகத்தின் விலகல் கோணத்தை பொறுத்தது அல்ல என்பது தெளிவு.

தொலை நோக்கியில் பார்த்தபடி,

$$d\theta = \frac{\lambda}{d}$$

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{l}{d}\ \frac{\lambda}{d\lambda}$$

$$= \frac{1}{d}\cdot\frac{2Bl}{\lambda^3}$$

இச்சமன்பாடு நிறப்பிரிகையைக் கொடுக்கின்றது. இதன்படி ஊதாப்பகுதியில் பரவியும் சிவப்பு முனையில் நெருங்கியும் நிறமாலை அமைதல் பெறப்படுகின்றது.

20.9 மைக்கேல்சன் விண்மீன் வெளி குறுக்கீட்டுமானி

(1) தத்துவம்

தொலை நோக்கியினால் பார்க்கப்படும்பொழுது அருகருகே அமைந்துள்ள இரு பொருள்களின் படிவங்களை தனித் தனியே பிரித்தறியுமாறு அவை தோன்றும் நிலையில், அவைகளுக்கிடைப் பட்ட கோணப்பிரிகை.

$$d\theta = \frac{1.22\lambda}{D}\ \text{ஆகும்.}$$

இங்கு, λ பயன்படும் ஒளியின் அலைநீளமும், D-தொலைநோக்கியினுடைய பொருளருகியின் விட்டமுமாகும். தொலைநோக்கியின்

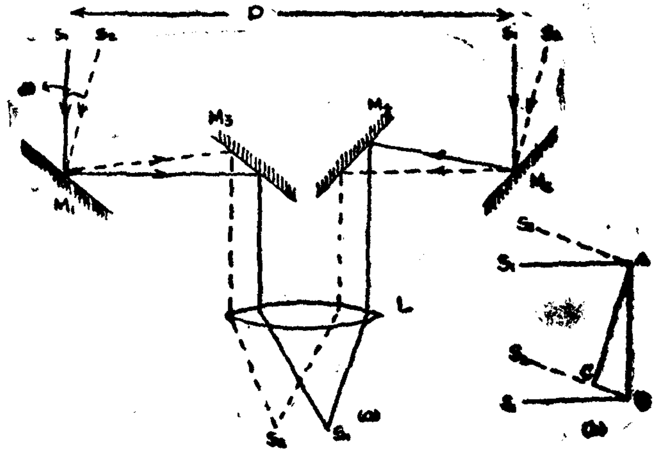
பொருளருகியைத் திரையொன்றினைக் கொண்டு மறைத்து அந்தத் திரையில் இரண்டு நீள் பிரிவுகள் உண்டாகுமாறு வெட்டி எடுக்கவும். பிளவுகளுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு d எனில், இந்த மதிப்பு இட்டத்தட்ட வில்லையின் விட்டம் D-க்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும். d-க்குப் பொருத்தமான மதிப்பு $\frac{D}{1.22}$ ஆகும். தொலைவில் அமைந்துள்ள இரட்டை விண்மீன் ஒன்றினை தொலை நோக்கியின் மூலம் ஆய்வதாகக் கொள்வோம். இரு விண்மீன் களையும் இணைக்கும் கோடு தொலை நோக்கியின் பிளவுகளின் நீளங்களுக்குக் குத்தாக இருக்கும்படி வைத்துக்கொள்ள வேண்டும். இதனால் விண்மீன்களிலிருந்து வரும் ஒளி பிளவுகளின் மூலம் தொலை நோக்கியை அடைவதினால் பொருளருகியின் குவியத் தளத்தில் இரட்டைப் பிளவுகளின் குறுக்கீட்டுப் பாங்கம் உண்டாகும். இரண்டு விண்மீன்களுக்கும் இடைப் பட்ட பிரிகைக் கோணம் α எனில்.

$$\alpha = \frac{\lambda}{2d} = \frac{1.22\,\lambda}{2D} = \frac{d\theta}{2}$$

என்று அமையும்பொழுது குறுக்கீட்டு வரிகளின் முதல் மறைவு ஏற்படும். இதுபோன்று, α-வின் மதிப்பானது $\frac{\lambda}{D2}$ இன் முழு எண் பெருக்கற் தொகையாக இருக்கும்பொழுதும் வரிப்பாங்க மறைவு உண்டாகும். இரட்டைப்பிளவு இல்லாமல் நேரடியாக அளவுகளை எடுத்தால் $\frac{\lambda}{2d}$ -இன் முழு எண் பெருக்கற்பலன் மதிப்புகளைத் தவிர்க்கலாம். அப்பொழுது கோணப்பிரிகை α-வின் மதிப்பு தொலைநோக்கியின் பொருளருகியின் மிகக் குறைந்த பிரிகைக் கோணம் $d\theta$-வில் பாதியாகும். அதாவது,

$$\alpha = \frac{d\theta}{2} \text{ ஆகும்.}$$

இவ்வாறு இரட்டைப்பிளவு தத்துவத்தினைக் கொண்டு நெருங்கியமைந்த இரு விண்மீன்களை பிரித்தறிதலுக்குப் பதிலாக, விண்மீன்களின் கோண விட்டம் (*Angular diameter*) காண மைக்கேல்சன், விண்மீன் வெளி குறுக்கீட்டுமானி (*Stell- interjerometer*) 1920-ஆம் ஆண்டு அமைத்தார்.



படம் 20.11

படம் 20.11. (a)-இல் இக்குறுக்கீட்டு மானியின் அமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது. M_1, M_2, M_3, M_4 என்னும் நான்கு ஆடிகள் படத்திலுள்ளவாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளன. ஆடிகள் M_1, M_3 இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக அமைக்கப்பட்டுள்ளன. இதேபோன்று, ஆடிகள் M_2, M_4 இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. L என்பது தொலைநோக்கியின் பொருளருகியாகும். பொருளருகிக்கு முன்னால் வைக்கப்படவேண்டிய பிளவுகள், ஆடிகள் M_3, M_4 இவற்றில் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் L-ஐ நோக்கிவரும் ஒளிக்கதிர்களின் பாதைகளில் வைக்கப்படுகின்றன. S_1, S_2 என்பவை விண்மீன் ஒன்றின் விட்டத்தின் இறுதிப் புள்ளிகள் எனக்கொள்வோம். இந்த இறுதிப் புள்ளிகளிலிருந்து வரும் கதிர்கள் வில்லை L-ஐ ஆடிகள் M_1, M_2, M_3, M_4 இவைகள் மூலம் அடைதல் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஆடிகள் M_1, M_2 இரண்டும் தூலம் (Girder) ஒன்றின் மேல், அவற்றிற்கிடைப்பட்ட தொலைவு D-யை மாற்ற இயலும் வண்ணம் அமைக்கப்பட்டுள்ளன. ஆடிகள் M_1, M_3 இவற்றின் எதிரொளிக்கும் பரப்புகள் ஒன்றையொன்று நோக்கி இருக்கும். அதேபோல் M_2, M_4 இரண்டும் அமைக்கப் பட்டிருக்கும்.

M_1-லிருந்து L-ஐ அடையும் கதிர்களுக்கும், M_2-விலிருந்து L-ஐ அடையும் கதிர்களுக்குமிடையே பாதை வேறுபாடு இல்லை. படம் 20.11 (b)-இல், M_2 என்னும் ஆடியின்மீது கதிர்கள் A என்ற புள்ளியிலும், M_1 ஆடியின் மீது கதிர்கள் B என்னும் ஒளி

விழும் படுவதாகக் கொள்வோம். விண்மீனின் விட்டத்தின் ஒரு முனைப்புள்ளி S_1-லிருந்து விழும் கதிர்களும், மறுமுனைப்புள்ளி S_2-விலிருந்து வரும் கதிர்களுக்குமிடைப்பட்ட பாதை வேறுபாடு BC-க்குச் சமமாகும்.

முக்கோணம் ABC-யிலிருந்து

$$d\theta = \frac{BC}{D}$$

அல்லது $BC = D.d\theta$ ஆகும்.

குறுக்கீட்டு வரிகளின் முதல் மறைவுக்கு இந்த பாதை வேறுபாடு (1.22λ)-க்குச் சமமாக இருத்தல் வேண்டும். எனவே,

$$D.d\theta = 1.22\lambda$$

$$d\theta = \frac{1.22\lambda}{D}$$

இந்த $d\theta$ விண்மீனின் கோண விட்டத்திற்கான மதிப்பு ஆகும்.

மைக்கேல்சன், பீஸ் இருவரும் பீட்டல்கியஸ் (Betelgeuse) என்னும் பெரிய நட்சத்திரத்தின் விட்டத்தினை கணக்கிட்டார்கள். இதற்கு, மைக்கேல்சன் விண்மீன்வெளி குறுக்கீட்டுமானி வில்சன் மலை (Mount Wilson) மீது அமைக்கப்பட்ட 2.54 மீட்டர் எதிரொளிப்பியின் முன் வைக்கப்பட்டது. எதிரொளித்த கதிர்கள் ஆடிகள் M_1, M_2 இவற்றின் மூலம் குறுக்கீட்டு மானியை அடையும். நட்சத்திரத்திலிருந்து வரும் ஒளி அலைகளின் சராசரி அலை நீளத்தை 5,750 ஆ.அ. எனக்கொண்டு $d\theta$-வைக் கணக்கிட்டனர். D-ன் அளவு கிட்டத்தட்ட 3 மீட்டர் ஆகும். அதன்படி,

$$d\theta = \frac{1.22 \times 5,750 \times 10^{-8}}{3 \times 100} \times \frac{180}{\pi} \times 3,600 \text{ செகண்ட்}$$

$$d\theta = 0.0473 \text{ செகண்ட்}$$

இந்த அளவு கோண விட்டத்துடன் அது பார்வையாளரிடமிருந்து உள்ள தொலைவினைச் சேர்த்து, பீட்டல்கியஸ் விண்மீனின் உண்மையான விட்டம் கிட்டத்தட்ட 2.16×10^{10} கி. மீ எனக் கணக்கிடப்பட்டது.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. வில்சன் மலைமீதுள்ள ஆராய்ச்சி நிறுவனத்தின் தொலை நோக்கியின் பொருளருகியின் விட்டம் 2.54 மீட்டர். பயன்படும் ஒளியின் அலைநீளம் 5.5×10^{-7} மீட்டர் எனக்கொண்டு, பகுத்து உணரும் வகையில் இரண்டு விண்மீன்களுக்கிடையே அமையக் கூடிய மிகச்சிறிய கோணப் பிரிகையைக் கணக்கிடுக.

வில்லையின் கோணப்பிரிகை எல்லை,

$$d\theta = \frac{1.22\lambda}{D} \text{ ஆகும்.}$$

$$D = 2.54 \text{ மீட்டர்}$$

$$\lambda = 5.5\times10^{-7} \text{ மீட்டர்}$$

$$\therefore d\theta = \frac{1.22\times5.5\times10^{-7}}{2.54}$$

$$= 2.642\times10^{-7} \text{ ரேடியன்}$$

$$= 0.0544 \text{ செகண்ட்}$$

2. 1.5×10^{-3} மீட்டர் இடைவெளி கொண்டு அமைந்துள்ள இரண்டு வளித்துளைகள், 5.5×10^{-7} மீட்டர் அலைநீளம் கொண்ட ஒளியால் ஒளியூட்டப்படுகின்றது. தொலைநோக்கியின் பொருளருகியின் விட்டம் தடுப்பின்மூலம் 4×10^{-3} மீட்டர் ஆக செய்யப்பட்டுள்ளது. தொலை நோக்கியிலிருந்து எவ்வளவு பெருமத் தொலைவு வரை இரண்டு வளித்துளைகளையும் தனித்தனியாக பிரித்தறியலாம்.

$$d = 1.5\times10^{-3} \text{ மீட்டர்}$$

$$\lambda = 5.5\times10^{-7} \text{ மீட்டர்}$$

$$a = 4\times10^{-3} \text{ மீட்டர்}$$

D-தான் கணக்கிடப்படவேண்டிய பெருமத் தொலைவு எனில்,

$$\frac{d}{D} = \theta = \frac{1.22\lambda}{a}$$

$$\therefore \quad D = \frac{d \times a}{1.22 \times \lambda}$$

$$= \frac{1.5 \times 10^{-3} \times 4 \times 20^{-3}}{1.22 \times 5.5 \times 10^{-7}}$$

$$= \frac{6 \times 10^{-6}}{6.71 \times 10^{-7}} \simeq 0.9 \text{ மீட்டர்}$$

3. 10 ஒளி ஆண்டுகளுக்கு அப்பால் அமைந்துள்ள இரண்டு விண் மீன்கள் 0.2 மீட்டர் விட்டம் கொண்ட பொருளருகிக் கொண்டு பார்க்கப் படுகின்றன. எந்த குறைந்த பிரிவுத் தொலைவுக்கு அவை தனித்தனியாக தெரியுமென கணக்கிடுக. பயன் படும் ஒளியின் அலை நீளம் 6×10^{-7} மீட்டர் எனக் கொள்ளவும்.

(ஒரு ஒளி ஆண்டு = ஒளியானது ஓராண்டு காலத்தில் 3×10^{3} மீட்டர்/ விநாடி வேகத்தில் கடக்கும் தொலைவு)

ஒரு ஒளி ஆண்டுத் தொலை $= 9.5 \times 10^{12}$ கி. மீ.

$$\theta = \frac{x}{D} = \frac{1.22\lambda}{a}$$

இங்கு, x என்பது பிரிந்து அமையக்கூடிய தொலைவு.

D தொலைநோக்கியிலிருந்து அமைந்துள்ள தொலைவு.

$$x = \frac{1.22 \times \lambda}{a} \times D$$

$$= \frac{1.22 \times 6 \times 10^{-7} \times 9.5 \times 10^{-15} \times 10}{0.2}$$

$$= 34.77 \times 10^{9} \text{ மீட்டர்.}$$

4. (*a*) 5 மீட்டர் திறப்பு (Aperture) கொண்ட பொருளருகியை பயன்படுத்தும் தொலைநோக்கியொன்று, பகுதிறனின் முழுப் பயனையும் கொள்ளுமாறு அமைய, அதற்கு இருக்க வேண்டிய குறைந்த உருபெருக்குத் திறனைக் கணக்கிடுக.

கண்ணின் திறப்பு $= 5 \times 10^{-3}$ மீட்டர்.

பயன்படும் ஒளியின் அலைநீளம் $= 5 \times 10^{-7}$ மீட்டர்.

(*b*) இத்தகைய தொலைநோக்கியில் பயன்படுத்த வேண்டிய கண்ணருகியின் குவிய தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

(a) தொலைநோக்கியின் கோணப்பிரிகை எல்லை.

$$d\theta = \frac{1.22\ \lambda}{D}$$

$$= \frac{1.22 \times 5 \times 10^{-7}}{5}$$

$$= 1.22 \times 10^{-7} \text{ ரேடியன்கள்}$$

இதேப் போன்று, கண்ணின் கோணப் பிரிகை எல்லை.

$$d\theta' = \frac{1.22 \times 5 \times 10^{-7}}{5 \times 10^{-3}}$$

$$= 1.22 \times 10^{-4} \text{ ரேடியன்கள்}$$

∴ தேவையான உருப்பெருக்கம்

$$= \frac{d\theta'}{d\theta} = \frac{1.22 \times 10^{-4}}{1.22 \times 10^{-7}}$$

$$= 1{,}000$$

(b) தொலைநோக்கியின் உருப்பெருக்கம்

$$= \frac{F}{f} = \frac{\text{பொருளருகியின் குவிய தூரம்}}{\text{கண்ணருகியின் குவிய தூரம்}}$$

$$\therefore \quad 1{,}000 = \frac{F}{f}$$

$$= \frac{5}{f}$$

$$\text{அல்லது } f = \frac{5}{1{,}000}$$

$$= 0.5 \times 10^{-2}$$

$$= 5 \times 10^{-3} \text{ மீட்டர்}$$

5. 6×10^{-7} மீட்டர் அலை நீளம் கொண்ட ஒளி பயன்படும் பொழுது நுண்ணோக்கியொன்றைக் கொண்டு பகுக்கக் கூடிய மிகக் குறைந்த உருகொண்ட பொருளின் அளவு 3.5×10^{-7} மீட்டர். பயன்படும் பொருளருகியின் எண் மதிப்பு திறப்பு

(N. A) மதிப்பை

(i) காற்றிலும்,

(ii) விலகல் எண் μ (=1.5) கொண்ட எண்ணெயிலும் பயன்படும்பொழுது கணக்கிடுக.

(i) குளிக்கும் வில்லை பயன்படும் பொழுது, நுண்ணோக்கியின் பகுப்பு எல்லை,

$$d = \frac{\lambda}{2(N.A)} \text{ மதிப்பாகும்.}$$

$$\therefore N.A = \frac{\lambda}{2\times d}$$

$$= \frac{6\times10^{-7}}{2\times3.5\times10^{-7}} = \frac{6}{7} = 0.86$$

(ii) எண்ணெயில் பயன்படும் பொழுது, அதன் விலகல் எண்அளவு (N. A) அதிகரிக்கின்றது.

$$\therefore (N.A)_{\text{திரவ}} = 1.5\times0.86$$

$$= 1.44$$

6. 4×10^{-7} மீட்டர் தொலைவு இடைவெளி விட்டு அமைந்துள்ள இரண்டு பொருள்களைப் பார்ப்பதற்கு நுண்ணோக்கி யொன்று பயன் படுத்தப்படுகின்றது.

(a) பயன்படும் ஒளியின் சராசரி அலை நீளம் 5.46×10^{-10} மீட்டர் எனில், பொருளருகியின் எண்ணளவு திறப்பு (N.A)-ஐக் கணக்கிடுக.

(b) தெளிவுப் பார்வைத் தூரம் 0.3 மீட்டர் எனில், தொலைவில் இருந்து பார்க்கும் பொழுது கண்ணில் இந்த இரண்டு பொருள்களும் தாங்கும் கோணப்பிரிகை கோணத்தைக் கணக்கிடுக.

(c) கண்ணின் பகுதிறன் 1.5′ எனில், நுண்ணோக்கிக்கு இருக்கக் கூடிய மொத்த உருபெருக்குத்திறனைக் கணக்கிடுக.

(a) தானே ஒளி விடும் பொருளானால், பகுப்புக்கு அமையக் கூடிய நேரியல் பிரிகைத் தொலைவு,

$$d = \frac{1.22\,\lambda}{2\times(N.A)}$$

$$\therefore\ (N.A) = \frac{1.22\,\lambda}{2\times d}$$

$$= \frac{1.22\times 5{,}461\times 10^{-10}}{2\times 4\times 10^{-7}}$$

$$= \frac{1.22\times 5{,}461}{2\times 4}$$

$$= 0.819$$

(b) கண்ணால் பார்க்கப்படும் பொழுது இடைக்கும் கோணப் பிரிகை

$$= \frac{4\times 10^{-7}}{0.3}$$

$$= 1.33\times 10^{-6} \text{ ரேடியன்}$$

(c) கண்ணின் பகுதிறன் 1.5′ = 4.5×10^{-4} ரேடியன். எனவே, நுண்ணோக்கிக்குத் தேவையான மொத்த உருபெருக்கம்

$$= \frac{4.54\times 1\ ^{-4}}{1.33\times 10^{-6}}$$

$$= 340 \text{ (கிட்டத்தட்ட)}$$

7. 5×10^{-3} மீட்டர் அகலமும், 2,500 மூலங்களும் கொண்ட கீற்றணியொன்றின் மீது ஒளி குத்தாகப் படுகின்றது. சோடியம் ஆவி விளக்கில் உள்ள $5{,}890\times 10^{-10}$ மீட்டர், $5{,}8\cdot6\times 10^{-10}$ மீட்டர் அலை நீளங்கள் கொண்ட D வரிகளுக்கிடைப்பட்ட கோணப் பிரிகையைக் கணக்கிடுக.

இரண்டு வரிகளும் தனித்தனியாக தோன்றுமா என்பதையும் ஆராயவும்.

கீற்றணிச் சமன்பாடு,

$$(a + b)\sin\theta = n\lambda$$

5×10^{-3} மீட்டர் அகலத்தில் கீற்றணிக்கு 2,500 மூலங்கள் உள்ளன. எனவே, மூலமொன்றின் அகலம் $(a+b)$ ஆனால்,

$$(a + b) = \frac{5 \times 10^{-3}}{2{,}500}$$

$$= \frac{10^{-3}}{500}$$

$$= \frac{10^{-5}}{5}$$

$$= 2\times10^{-6}$$

முதல் வரிக்கு,

$$2 \times 10^{-6} \times \sin\theta_1 = 5{,}890 \times 10^{-10}$$

$$\sin\theta_1 = \frac{5{,}890 \times 10^{-10}}{2 \times 10^{-6}}$$

$$= 2{,}945 \times 10^{-4}$$

$$= 0{\cdot}2945$$

$$\therefore \quad \theta_1 = 17^\circ 8'$$

இதே போன்று இரண்டாவது வரிக்கு,

$$2 \times 10^{-6}\sin\theta_2 = 5{,}895 \times 10^{-10}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{5{.}895 \times 10^{-10}}{2 \times 10^{-6}}$$

$$= 2{,}948 \times 10^{-4}$$

$$= 0.2948$$

$$\theta_2 = 17°9'$$

∴ கோணப் பிரிகை $\theta_2 - \theta_1 = 17°9' - 17°8'$

$$= 1'$$

∴ இரண்டு வரிகளையும் பகுப்பதற்கான பகுதிறன்

$$= \frac{\lambda}{d\lambda}$$

$$= \frac{5{,}893 \times 10^{-10}}{6 \times 10^{-10}}$$

$$= 982$$

முதல் வரிசைக்குத் தேவையான பகுதிறன்

$$= nN$$

$$= 1 \times 2{,}500$$

$$= 2{,}500$$

பகுப்பதற்கு தேவையான பகுதிறனை 982-ஐ விட அதிக மான பகுதிறன் 2,500 உள்ளது. எனவே, இரண்டு வரிகளும் தனித் தனியாகப் பிரிந்துத் தோன்றும்.

வினாக்கள்

1. வில்லையொன்றின் பகுதிறன் என்றால் என்ன? பகுதிறனைக் கணக்கிடுக. வில்லைகளின் பகுதிறன், நல்ல ஒளியியல் கருவிகளை அமைப்பதில் எவ்வாறு பயன் படுகின்றன என்பதை விளக்குக.

2. தொலை நோக்கியின் பகுதிறனுக்கு வாய்பாடு ஒன்றைப் பெறுக.

3. ஒளியியல் கருவியொன்றின் பகுதிறன் என்றால் என்ன? நுண்ணோக்கியொன்றின் பகுதிறனுக்கான வாய்பாட்டைப் பெறுக. பகுதிறனை எவ்வாறு அதிகரிக்கலாம் என்று விளக்குக.

4. உருபெருக்குத் திறனுக்கும், பகுதிறனுக்கும் இடைப் பட்ட வேறுபாடு என்ன? நுண்ணோக்கி ஒன்றின் பகுதிறனுக் கான வாய்பாட்டைப் பெறுக.

5. 1×10^{-2} மீட்டர் அகலத்திற்கு 800 வரிகள் கொண்ட கீற்றணி சோடியம் D வரிகள் இரண்டாம் வரிசைக்கு பகுக்கும் வண்ணம் அமைய இருக்க வேண்டிய அகலத்தைக் கணக்கிடுக.
[0.615×10^{-2}]

6. கீற்றணி ஒன்று செயல்படும் விதத்தினை விளக்கிக் கூறுக. அதன் பகுதிறனுக்கான வாய்பாட்டைப் பெறுக.

7. நிறமாலை வரைவி ஒன்றுக்கான பகுதிறனை விளக்குக. அதன் பகுதிறனுக்கான வாய்பாட்டைப் பெறுக.

8. மைக்கேல்சன் விண்மீன்வெளி குறுக்கீட்டுமானியைக் கொண்டு இரு விண் மீன்களுக்கிடைப்பட்ட கோண விட்டம் காணுதலை விளக்குக. இதன் பயனை விளக்குக.

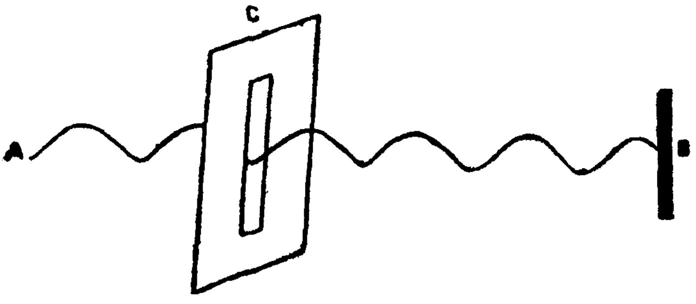
21. தள விளைவு

21.1 ஒளிக் குறுக்கீடு, விளிம்பு விளைவு இவையிரண்டைப் பற்றியும் படிக்கும்பொழுது, ஒளியானது அலை வடிவில் பரவுகின்றது என்னும் தத்துவம் மட்டுமே போதுமானதாக இருந்தது. ஆனால், அந்த அலையானது குறுக்கலையா அல்லது நெட்டலையா என்பது பற்றி கருத வேண்டிய அவசியம் ஏற்படவில்லை. காற்றில் ஒலி பரவ ஏதுவாக இருப்பது நெட்டலைகள் என்பது தெரிந்தவொன்றாகும். குறுக்கலைகள் ஊடக மொன்றில் பரவும் பொழுது ஊடகத்தின் துகள்கள் அலை பரப்பப் படும் திசைக்குக் குத்தாக மேலும் கீழுமாக அதிரும் என்றும் படித்தோம். குறுக்கலைக்கு எளிமையாக கொடுக்கக்கூடிய உதாரணம் நீர்ப் பரப்பின் மீது ஏற்படும் அலைகளாகும். நீர்த்துகள்கள் மேலும் கீழுமாக அதிரும் பொழுது அலையானது இடைப் பரப்பின்மீது பரப்பப் படுகின்றது.

தள விளைவானது குறுக்கலைகளின் ஒரு பண்பாக அமைவதினால் தளவிளைவு (Polarisation) கண்டு பிடிக்கப் பட்டவுடன் ஒளியலைகள் குறுக்கலைகள் என்பது நிறுவப்பட்டது.

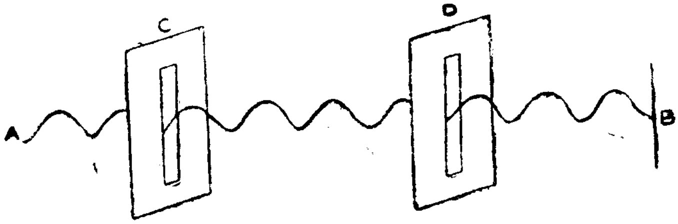
21.2 எந்திரவியல் அமைவு விளக்கம்

தள விளைவுற்ற ஒளியினைப் பற்றி ஆராயும் முன்பு, எந்திரவியல் அமைவுகள் மூலம் அதனை விளக்குதல் எப்படி என்று



படம் 21.1

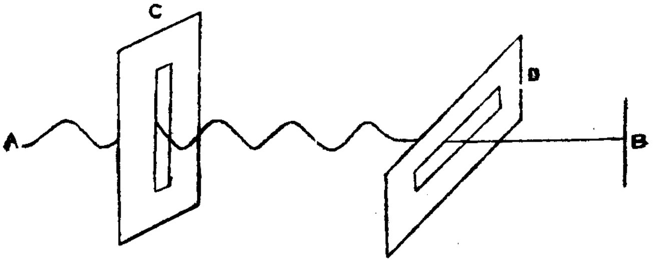
காண்போம். படம் 21.1-ல் AB என்பது ஒரு நீளமான கயிறு. அதன் ஒரு முனை B நிலையாகக் கட்டப்பட்டும், மறுமுனை A மேலும் கீழும் அசைக்கக் கூடிய வகையிலும் உள்ளன. A-க்கும் B-க்கும் இடையில் வைக்கப்பட்டுள்ள அட்டை C-யில் உள்ள பிளவின் வழியாக கயிறு செல்கின்றது. கயிற்றை மேலும் கீழும் அசைக்கும் பொழுது கயிற்றில் ஏற்படும் அலை வடிவுகள் தடையுறுமல்



படம் 21.2

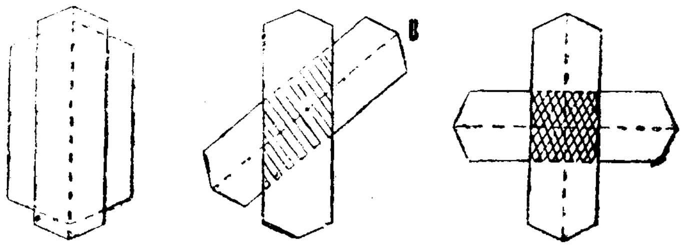
B-வரைச் செல்கின்றன. படம் 21.2-ல் அட்டை C-யினைப் போன்றே மற்றொரு அட்டை D-யிலுள்ள பிளவின் வழியாகவும் கயிறு செல்லுமாறு செய்து, C-யிலுள்ள பிளவும் D யிலுள்ள பிளவும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்குமாறு அமைக்கப் பட்டுள்ளது. இந்நிலையில் முனை A-யினை மேலும் கீழும் அசைத்தால் C-யை கடந்து செல்லும் அலைவடிவுகள் D-யிலும் தடையுறுமல் B-வரை பரவுகின்றன. மாறாக, D-யில் உள்ள பிளவை C-க்கு குத்தாக படம் 21.3-ல் உள்ளவாறு அமைத்தால், C-யைக் கடந்து செல்லும் அலைவடிவுகள் D-யைக் கடந்து செல்ல இயலாமல் தடுக்கப்படுகின்றன.

டூர்மலின் (Tourmaline) போன்ற படிகங்களின் வழியாக ஒளியலைகள் பரவும் பொழுது படம் 21 2-ல் கண்டவாறு இரு பிளவுகளுக்குப் பதிலாக இரண்டு டூர்மலின் படிகங்கள் ஒரே மாதிரியாக அமைக்கப் பட்டால் கடந்து செல்கின்றன. ஒன்றுக்



படம் 21.3

கொன்று குத்தான நிலையில் வைக்கப் படும் பொழுது இரண்டாவது படிகத்தால் தடுத்து நிறுத்தப் படுகின்றன. இந்நிகழ்வு ஏற்படுகின்றது என்பதனை பிளவுகளின் வழியாக கயிற்றில் ஏற்படும் அலை வடிவுகள் பரவும் உதாரணத்தைக் கொண்டு விளக்கலாம். டூர்மலின் போன்ற படிகங்களில் ஒளியியல் அச்சு (Optical axis) என்று ஒன்று உண்டு. [அத்தியாயம் 22. பகுதி 22. 2]. இந்த அச்சினுக்கு இணையாக டூர்மலின் படிகத்திலிருந்து தகடுகளை வெட்டி எடுக்க இயலும். அவ்வாறு வெட்டியெடுத்த இரு தகடுகளை படம் 21.4 (a)-ல் உள்ளவாறு ஒளியியல் அச்சுகள் இணையாக இருக்கும் நிலையில் வைத்தால் ஒளி கடத்தப்படும். கடத்தப்பட்ட



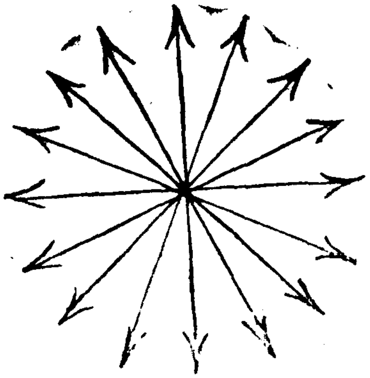
(a) (b) (c)

படம் 21.4

ஒளிக் கற்றையானது இரண்டு தகடுகளில் ஏதாவதொன்றின் வழியாக புகுந்து வெளி வரும் பொழுது சிறிது நிறங்கொண்டதாக உள்ளது. இது படிகத்தின் இயற்கையான நிறத்தினால் உண்டாவதாகக் கொள்ளலாம். இரண்டு படிகத் தகடுகளும் ஒளியியல் அச்சுகள் இணையாக இருக்கும்படி வைக்கப்பட்ட நிலையில், இரண்டின் வழியாகவும் புகுந்து வெளிவரும் ஒளிக்கற்றையானது அதிக நிறம் கொண்டதாக இருக்கின்றது. இதனைத் தவிர மற்ற பண்புகளில் ஆரம்பத்தில் படும் ஒளியினைப் போன்றே உள்ளது. ஆனால் 21 .4(b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு தகடு B-யினைச் சுற்றினால் விடுகற்றை (Emergent beam) செறிவு குறைய ஆரம்பித்து, சரியாக 90° சுழற்றப்பட்ட நிலையில் [படம் 22.4(c)] விடுகற்றையே இல்லாமல் போகின்றது. தகடு B-யை மேலும் சுழற்றிக் கொண்டே இருந்தால் ஒளிக்கற்றையில் மீண்டும் மெல்ல மெல்ல செறிவு அதிகமாகின்றது. சரியாக ஆரம்ப நிலையிலிருந்து 180° சுழற்றிய நிலையில் ஒளியியல் அச்சுகள் இணையாக மீண்டும் அமைவதால் அதிகச் செறிவுடன் விடுகற்றை அமைகின்றது. முதல் படிகத் தகட்டின் வழியாக புகுந்து வெளியேறிய

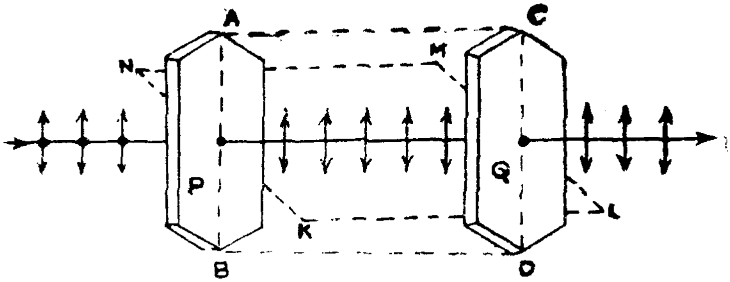
வுடன் ஒளிக்கற்றையானது அதன் பண்பில் ஏதோ மாற்றமடை வது இந்த ஆய்வினால் அறியப்படுகின்றது. இந்த மாற்றத்தினால் இரண்டாவது படிகத்தகட்டின் சில நிலைகளுக்கு, முதல் தகட்டின் வழியாக வந்த ஒளியை இரண்டாவது தகடு தடுத்து நிறுத்துதல் தெளிவு. இந்நிகழ்வு ஏற்படுதல் படிகத் தகட்டின் வழியாக புகுந்து செல்லும் பொழுது, ஒளிக்கற்றைகள் அடையும் ஒரு பக்க விளைவு தான் காரணமென்று கூறலாம். இவ்வாறு ஒரு பக்க விளைவு ஏற்படுதல் ஒளியலைகள் குறுக்கலை (Transverse wave) களாக இருந்தால் மட்டுமே இயலும். இவ்வாறு ஏற்படும் ஒரு பக்க விளைவுதான் தளவிளைவு (Polarisation) எனப்படுகின்றது.

மின்காந்த கொள்கையின்படி ஒளியானது மின்காந்த அதிர்வு காரணமாக பரப்பப்படுவதாகும் (அத்தியாயம் 25). இவ்வாறு பரப்பப்படும் மின்காந்த ஒளியலைகளில் மின்புலமும் காந்த புலமும் ஒன்றுக்கொன்று குத்துத் தளத்தில் அமைவதுடன் இவையிரண்டுமே பரவும் திசைக்கு குத்தாக உள்ளன. இந்த இரண்டு புலங்களும் காலத்தால் தொடர்ந்து வேகமாக மாறிக் கொண்டேயுள்ளன. நாம் கருதும் தளவிளைவு அடைவதற்கு காரணமாக உள்ளது மின்வெக்டர் என்று அழைக்கப்படும் மின் புலம் E-தான் என்பது ஆய்வுகளின் மூலம் அறியப்படுகின்றது. ஒளியில் நாம் கருதும் அதிர்வுகள் என்பவை, ஒளி பரவும் திசைக்கு குத்து திசையில் அமையும் மின்வெக்டர் E-யில் ஏற்படும் வேறு பாடுகளேயாகும். ஆற்றல்பெற்ற நிலையிலுள்ள அணுக்கள் வெளியிடும் கதிர்வீச்சமே ஒளியென்பது குவாண்டம் கொள்கை யினால் அறியப்படுகின்றது. ஆற்றலுற்ற நிலையிலுள்ள அணுக்கள் ஒவ்வொன்றும் வெளியிடும் அலைத்தொடர்களை இயற்கை ஒளி



படம் 21 5

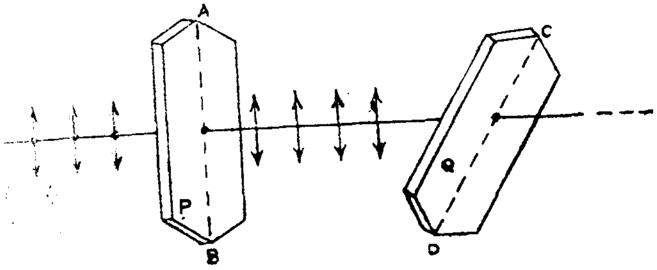
கொண்டுள்ளது. ஒவ்வொரு அலைத் தொடரிலும் மின்வெக்டரின் அலைவுகளால் ஏற்படும் மாறுதல்கள், ஒளிபரப்பப்படும் திசைக்கு குத்து திசையில் அமையும் தளமொன்றில் அமைகின்றது. இயற்கை ஒளியில் அமையும் ஒளிக்கற்றையொன்றில், இது



படம் 21.6

போன்ற பல லட்சம் அலைத்தொடர்கள் காணப்படுகின்றன. இவை ஒளி மூலமொன்றில் ஆற்றலுற்ற நிலையில் அமையும் பல அணுக்களினுலும், மூலக் கூறுகளினுலும் உண்டாக்கப் படுபவை. இவ்வாருன எல்லா அதிர்வுகளும் பரவும் திசைக்கு குத்தாக உள்ளவை எல்லா விதமான திசைகளிலும் அமைந்துத் தோன்று கின்றன. அதாவது, தளவிளைவு அடையாத இயற்கை ஒளியை இயன்ற எல்லா திசைகளிலும் தளவிளைவுற்ற நேரியல் அலை களின் கலவை எனக் கருதலாம். இவ்வாருன தளவிளைவுரு ஒளி யின் ஒரு முனைத்தோற்றம் படம் 21.5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இரு முனைகளிலும் அம்புக் குறியிட்ட நேர் கோடுகள் பல அலை களுக்கான மின்வெக்டர்களை குறிக்கின்றன. இவ்வாருன இயற்கை ஒளியின் தன்மையினைக் கொண்டு டூர்மலேன் படிகம் ஏற்படுத்தும் செயலைக் காணுதல் எளிதாகும். படும் அலையில் ஒளி யியல் அச்சு திசைக்கு இணையாக அமையும் அதிர்வுகள் மட்டுமே அதன் வழியாக அனுப்பப் படுகின்றன. மற்ற அதிர்வுகள் எல்லாம் தடுக்கப் படுகின்றன. படம் 21.6-ல் டூர்மலேன் படிகம் P-யில் படும் இயற்கை ஒளியில் AB என்னும் அச்சுக்கு இணையாக உள்ள அதிர்வுகள் மட்டும் கடத்தப்படுகின்றன. இவ்வாருன நிலையில் அதிர்வுகள் ஒரு தளத்தில் மட்டுமே அமைகின்றன. இதனுல் வெளிவரும் ஒளியானது தளவிளைவுற்ற ஒளி எனப் படுகின்றது. இப்பொழுது, AB-க்கு இணையாக இரண்டாவது படிகம் Q-வின் ஒளி அச்சு CD இருந்தால் முதல் படிகத்தில் தள விளைவு அடைந்த ஒளி அதன் வழியாக அனுப்பப் படுகின்றது. மாருக, படம் 21.7-ல் உள்ளவாறு, இரண்டாவது படிகம் Q-வின்

ஒளியியல் அச்சு CD-யானது AB-க்குக் குத்தாக இருக்குமேயானால் தளவிளைவுற்ற ஒளி அதன் வழியாகச் செல்ல இயலாது.



படம் 21.7

தளவிளைவுற்ற ஒளியை உண்டாக்கும் படம் 21.6-ல் உள்ள படிகம் P-யைப் போன்ற அமைவுகள் தளவிளைவிப்பான் (Polariser) எனப்படும். தளவிளைவுற்ற ஒளியை கண்ணை மட்டுமே கொண்டு அறிய இயலாது. எனவே, தளவிளைவுற்ற ஒளியை காணுதலுக்கும், அதன் அதிர்வுகள் அமையும் திசையை கணிப்பதற்கும், மேலும் சில கருவிகள் தேவை. படம் 21.6-ல் உள்ள படிகம் Q போன்ற அமைவுகள் பகுப்பான் (Analyser) எனப்படும். மேலும், தளவிளைவை ஏற்படுத்தும் எந்த அமைவும் பகுப்பானாகவும் பயன்படும். உதாரணமாக, படம் 21.6-ல் P-யின் நிலையில் Q-வையும், Q-வின் நிலையில் P-யையும் மாற்றி அமைக்கலாம். ஒரு தளவிளைவிப்பான், ஒரு பகுப்பான் இரண்டையும் முக்கிய பகுதிகளாகக் கொண்ட கருவியானது தளவிளைவுமானி எனப்படும்.

ஒளியானது தளத்தில் தளவிளைவு (Linear polarisatoin) கொள்வது மட்டுமில்லாமல், வட்டத் தளவிளைவு (Circular polarisation), நீள் வட்டத் தளவிளைவு (Elliptical polarisation) ஆகியவற்றையும் கொள்கின்றது. நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியில் மின்வெக்டரின் அதிர்வுகள் நீள்வட்டப் பாதைகளிலும், வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியில் மின்வெக்டரின் அதிர்வுகள் வட்டப் பாதைகளிலும் ஏற்படுகின்றன.

தளவிளைவினை விளக்கும் மேற்காணும் விளக்கங்களை கீழ் வருமாறு தொகுத்துக் கூறலாம் :

(i) இயற்கை அல்லது தளவிளைவுறு ஒளியானது, மின்வெக்டர் அதிர்வுகளைப் பரவும் திசைக்கு குத்தாக அமையும் எல்லா குத்துதிசைகளிலும் கொண்டுள்ளது.

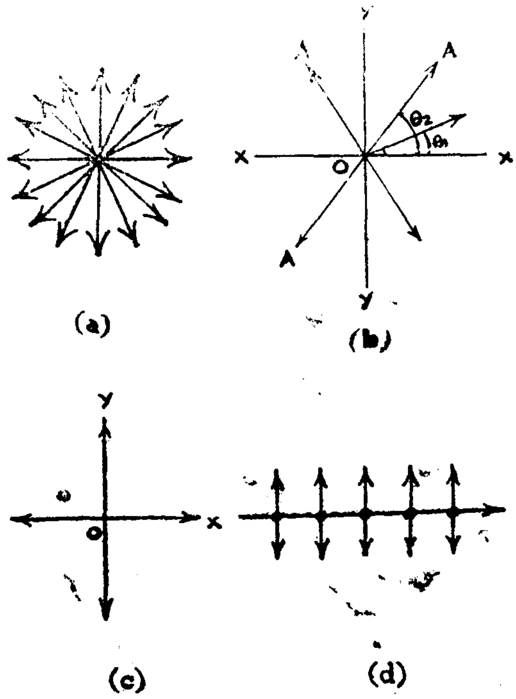
(ii) தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியானது, அதன் அதிர்வுகளுக்கு குத்து திசையில் அமையும் தளமொன்றில் மட்டும் கொண்டிருக்கும்.

(iii) அதிர்வுகள் அமையும் தளமானது அதிர்வு தளம் (Plane of vibration) எனப்படும். படம் 21.5-ல் *ABCD* அதிர்வு தளமாகும்.

(iv) அதிர்வு தளத்திற்குக் குத்தாக அமையும் தளம் தள விளைவுத் தளம் (Plane of polarisation) எனப்படும். இந்த தளத்திற்கு குத்து திசையில்தான் அதிர்வுகள் ஏற்படும். இந்த தளத்தில் அதிர்வுகளின் எப்பகுதியும் அமையாது. படம் 21.6-ல் *KLMN*-தான் இந்த தளவிளைவுத் தளமாகும்.

21.3 தளவிளைவுற்ற ஒளி அமைவு படவிளக்கம்

படம் 21.8(*a*)-ல் தளவிளைவு அடையாத இயற்கை ஒளியானது பரவும் திசைக்கு குத்தாக அமையும் எல்லா திசை



படம் 21.8

களிலும் கொள்ளும் அதிர்வு எனக் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த அதிர்வுகள் அனைத்திற்குமான ஏதாவது இரண்டு குத்து திசைகளில் அமையும் தொகுபயன் எனக் கணக்கிட இயலும். படம் 21.8 (b)-ல் உள்ளவாறு தொகு பயன்களை X, Y என்னும் இரு குத்து அச்சுத் திசைகளில் காண்பதாகக் கொள்வோம். அதிர்வுகளில் அமையும் மின்வெக்டரின் அளவு A என்றும், ஒவ்வொரு அதிர்வும் X அச்சுடன் ஏற்படுத்தும் கோணங்கள் முறையே θ_1, θ_2 ... என்றும் கொண்டால்,

X திசையில் அமையும் தொகு பயன் பகுதி

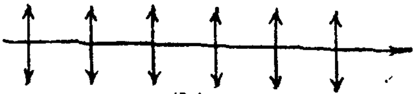
$$= A\cos\theta_1 + A\cos\theta_2 + \ldots\ldots\ldots \text{ என்றும்,}$$

Y திசையில் அமையும் தொகு பயன் பகுதி,

$$= A\sin\theta_1 + A\sin\theta_2 + \ldots\ldots \text{ என்றும் கிடைக்கும்.}$$

இவ்வாறு தொகுப்பதனால்,இயற்கை ஒளியானது பரவும் திசைக்கு குத்தான எல்லா திசைகளிலும் அதிர்வுகளைக் கொள்ளாமல், OX, OY என்னும் இரு திசைகளில் மட்டுமே அதிர்வுகளைக் கொள்வதாக எடுத்துக் கொள்ளலாம். இந்த அதிர்வுகள் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக படம் 21.8 (c)-ல் உள்ளவாறு அமையும் இரு தளங்களில் மட்டும் அமைந்துள்ளதாகக் கொள்ளலாம். இந்த முறையில் கருதப்படும் இயற்கை ஒளியினை எடுத்துக் காட்டும் படம் தான் 21.8 (d) ஆகும். இரு பக்கம் அம்புக் குறி கொண்ட அதிர்வுகள் தாளின் பரப்பிலும், புள்ளிகள் மூலம் காட்டப் பட்டுள்ள அதிர்வுகள் தாளினுக்கு குத்தாக அமையும் தளத்திலும் ஏற்படுபவையாகும்.

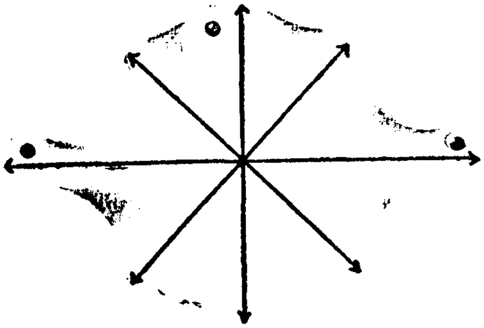
(a)



(b)

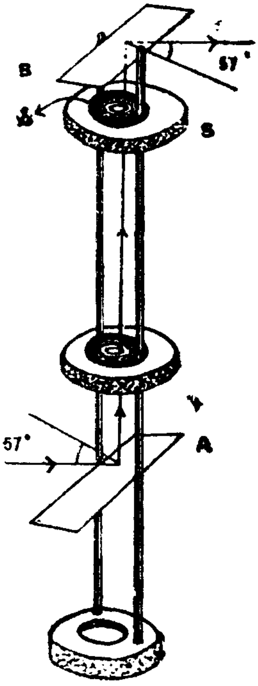
படம் 21.9

படம் 21.9 (a)-ல் தாளின் பரப்புக்குக் குத்தான தளத்தில் அதிர்வுகளைக் கொண்டு, இடமிருந்து வலமாகப் பரவும் தளவிளைவுற்ற ஒளி காட்டப்பட்டுள்ளது. பகுதி நேரியல் தள விளைவு (Partial linear polarisation) அடைந்த ஒளியினை படம் 21.10-ல் உள்ளவாறு குறிப்பிடுவதுண்டு.



படம் 21.10

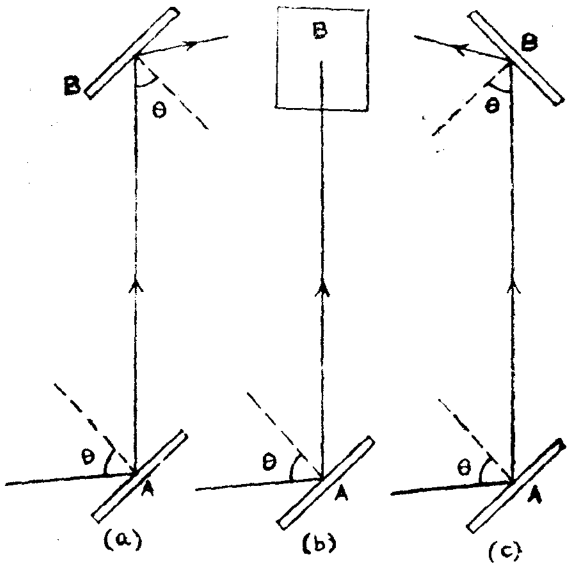
21.4 பயட் தளவிளைவுக் கருவி



படம 21.11

ஒளி தளவிளைவு அடைதலைத் தெளிவுபட விளக்குதலுக்கு அமைக்கப்பட்டது பயட் தளவிளைவு கருவியாகும். இதன் உருவ அமைப்பு படம் 21.11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதன் முக்கிய பகுதிகள், கிடை அச்சினைப்பற்றி சுழலுமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ள கண்ணாடித் தகடுகள் *A*, *B* இரண்டுமாகும். குத்தாக அமைக்கப்பட்டுள்ள தாங்கியொன்றின் அடிப்பாகத்தில் *A* பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இத்தாங்கியின் உச்சியில் அமைக்கப்பட்ட வட்டமான மேசை *S*-ன் மீது சுழலுமாறு வைக்கப்பட்டுள்ள மற்றொரு தாங்கி *s*-ல் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் உச்சியில் கண்ணாடித் தகடு *B* கிடை அச்சொன்றின் மூலம் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. தகடு *B*-யை ஒரு பகுப்பான் போன்று பயன் படுத்தக் கூடிய வகையில், *B*-பொருத்தபபட்டுள்ள தாங்கி *s*-யை மட்டும் ஒரு குத்து அச்சினைப் பற்றியும் சுழலுமாறு செய்யலாம். *B*-யை குத்து அச்சினைப் பற்றிச் சுழற்றும்பொழுது *A*-யினைப் பொறுத்த *B*-யின் சுழற்சிக் கோணத்தை அளக்கக்கூடிய வகையில் வட்ட மேடை *S*-ல் ஒரு வட்ட அளவுகோல் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

தொடக்கத்தில் கண்ணாடித் தகடுகள் A, B இரண்டும் கிடைத்தளத்திற்கு சம அளவில் சாய்ந்திருக்குமாறும், ஒன்றுக் கொன்று இணையாக இருக்குமாறும் அமைக்கப் படுவதாகக் கொள்வோம். பின்னர், அவை இரண்டையும் சரி செய்து கண்ணாடித் தகடு A-யினால் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளி நேர் குத்து திசையில் கண்ணாடித் தகடு B-யை அடையுமாறு செய்ய வேண்டும். இந்நிலையில், A-யில் கதிருக்கு ஏற்படும் படுகோணம் θ எனில், B-யின் மீது A-யிலிருந்து எதிரொளிப்பதற்குப் பின்னர் படும் கதிரும் அதே கோணம் θ-வில் படும். இது படம் 21.12 (a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. B-யில் படும் ஒளி மீண்டும் எதிரொளிப் படைந்து செல்கின்றது. S என்னும் வட்ட அமைவின் மீது பொருத்தப் பட்டுள்ள B-யைத் தாங்கிக் கொண்டிருக்கும்



படம் 21.11

தாங்கியை குத்து அச்சு ஒன்றினைப் பற்றி சுழற்றினால், B-யில் எதிரொளிப்புக்குப் பின்னர் வரும் ஒளியின் செறிவு குறைந்து கொண்டே வந்து, 90° கோணம் சுழற்றிய நிலையில் ஒளிச்செறிவு சுழியமாகின்றது. படம் 21.12(b)-ல் இந்நிலை காட்டப் பட்டுள்ளது. மேலும், கண்ணாடித் தகடு B-யை சுழற்றினால் எதி ரொளிப்பின் மூலம் கிடைக்கும் ஒளியின் செறிவு கூடுகின்றது. ஆரம்ப நிலையிலிருந்து 180° கோணம் சுழற்றப் பட்டால் ஒளிச் செறிவு பெருமதிப்பைக் கொள்கின்றது. [படம் 21.12 (c)]

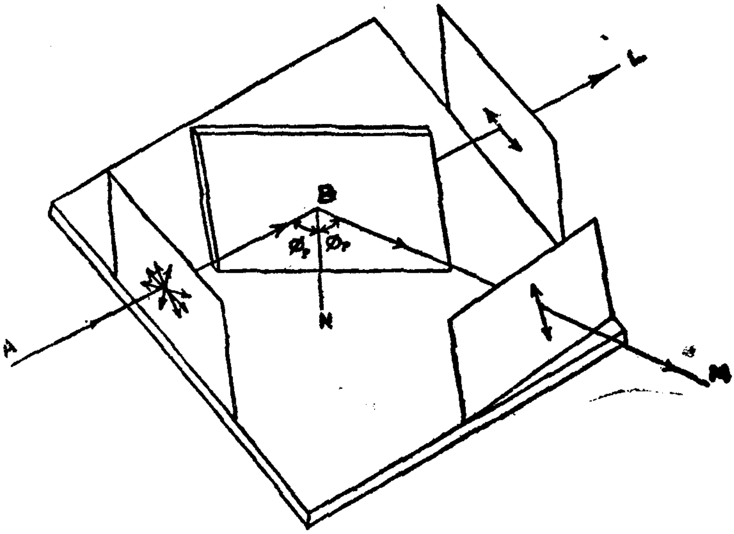
மீண்டும் 270° கோண அளவுக்கு சுழற்றினால், செறிவு சிறும மதிப்புக் கொள்கின்றது. மீண்டும் சுழற்றி, மொத்த சுழற்சிக் கோணம் 360° இருக்கும் பொழுது கண்ணாடித் தகடு ஆரம்ப நிலையை அடைகின்றது. B-யில் எதிரொளித்த ஒளி பெருமதிப்புக் கொண்டுள்ளது.

கண்ணாடித் தகடு A-யில் படும் கோணத்தை மாற்றி மாற்றி அமைத்தும், ஒவ்வொரு நிலைக்கும் A-யும், B-யும் இடை நிலைக்கு ஒரே கோணத்தை ஏற்படுத்து மாறும் வைத்து ஆய்வினைச் செய்தால், ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்திற்கு B-யில் எதிரொளிக்கும் ஒளியானது பெரும செறிவைக் கொண்டுள்ளது. இந்த நிலையில் A-யினால் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளிக்கற்றை முழுவதும் தள விளைவு அடைந்ததாக உள்ளதே இதற்குக் காரணம். இந்தக் கோணம் தளவிளைவுக் கோணம் (Polarising angle) எனப்படும். கண்ணாடிப் பரப்பிற்கு இந்தக் கோணம் கிட்டத்தட்ட 57° ஆகும். படுகதிர், எதிரொளிக்கும் பரப்பிற்கு வரையப்படும் குத்துக் கோடு இவற்றினைத் தாங்கியுள்ள பரப்பானது படுதளம் (Plane of incidence) எனப்படும். [இந்த தளத்தில்தான் படுகதிருக்கும் குத்துக் கோட்டுக்குமான கோணம் θ அமைந்திருக்கும்]. ஆடிகள் A, B இவற்றுக்கு அமையும் படுதளங்கள் இணையாக இருக்கும் பொழுது எதிரொளிக்கப்படும் ஒளியின் ஒளிச்செறிவு பெருமமாக இருக்கும். படுதளங்கள் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக இருக்கும் பொழுது, அதாவது அவை குறுக்குறுநிலை (Crossed position)-யில் இருக்கும்பொழுது, ஒளிச்செறிவு சிறுமமாக இருக்கும்.

21. 5 எதிரொளிப்பு மூலம் தளவிளைவு

காற்றில் ஒளி பரவி கண்ணாடிப் பரப்பின் மீது பட்டு எதிரொளிக்கும் பொழுது, எதிரொளித்த ஒளிக்கற்றையால், பகுதி தளவிளைவு அடைதலை 1808-ஆம் ஆண்டு மாலுஸ் (Malus) என்பார் கண்டார். எதிரொளிப்பு தளத்திற்கு குத்து திசையில் அதிர்வுகளைக் கொண்ட ஒளிப்பகுதி அலைகள் அதிக அளவில் எதிரொளிக்கப்படுமெனவும் கண்டார்.

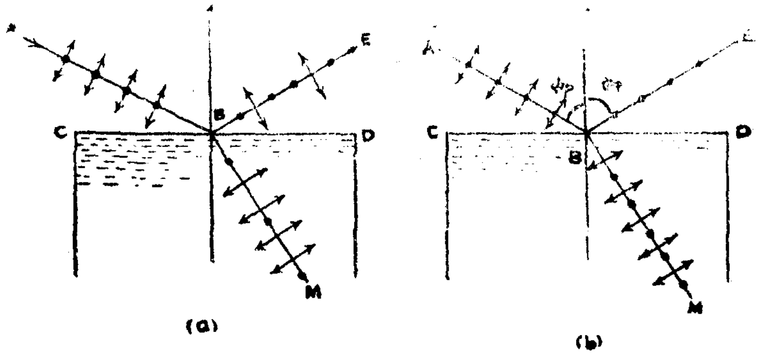
படம் 21.8 (d)-ல் உள்ள அமைப்புப்படி புள்ளிகளினால் (.) குறிக்கப்படும் பகுதி அம்புக்குறியால் (→) குறிக்கப்பட்டுள்ள பகுதியை விட அதிக அளவில் எதிரொளிக்கப்படுகின்றது. எதிரொளித்த ஒளி தளவிளைவு அடைதல் படுகோணத்தையும் பொறுத்து அமைகின்றது. பயட் தளவிளைவு மானியில் பார்த்தது போல், கண்ணாடி பரப்பின் மீது 57° படுகோணத்தில் ஒளி படும் பொழுது அதிக அளவு தளவிளைவு ஏற்படுகின்றது. இந்தக்



படம் 21.13

கோணம் தளவிளைவுக் கோணம் (Polarising angle) எனப்படும். படம் 21. 13-ல் $A\ B$ என்பது எல்லா திசைகளிலும் அதிர்வுகளைக் கொண்ட தளவிளைவு அடையாத ஒளி. இந்த அதிர்வுகள் எல்லா வற்றையும் முன் பகுதியில் பார்த்தது போன்று ஏதாவது இரண்டு குத்து திசைகளில் மட்டுமே அடையுமாறு தொகுக்க இயலும். கண்ணாடித் தகட்டொன்றின் முன்பரப்பு B-யில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பு மூலம் இந்த அதிர்வுகள் ஓரளவுக்கு தனித்தனி யாக பிரிக்கப் படுகின்றன. BM திசையில் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளியில் பெரும்பாலும் தாளின் தளத்திற்கு குத்து திசையில் அமைந்த அதிர்வுகள் கொண்ட ஒளி அலைகளே இருக்கும். $B\ L$ திசையில் க டத்தப்படும் ஒளியில் தாளின் தளத்தில் அதிர்வுகளைக் கொண்ட ஒளியலைகள் மட்டுமே இருக்கும்.

எதிரொளிப்பின் மூலம் தளவிளைவு அடைதலை மேலும் விளக்கும் வகையில் படம் 21. 14 (a), (b) இரண்டும் அமைந் துள்ளன. CD என்னும் கண்ணாடிப் பரப்பின் மீது இயற்கை ஒளி யானது படுகின்றது. இந்த படும் ஒளியானது ஒன்றுக்கொன்று குத்து திசையில் அமையும் அதிர்வுகளைக் கொண்டது ஆகும். படும் தளத்திற்குக் குத்து திசையில் அதிர்வுகளைக் கொண்ட ஒளியலைகள் குறி இரட்டை அம்புகள் கொண்ட கோடுகள் மூலமும் காட்டப்பட்டுள்ளன.



படம் 21.14

எல்லாப் படுகோணங்களுக்கும் எதிரொளித்த ஒளி, விலகல் அடைந்த ஒளி ஆகிய இரண்டு பகுதிகளும், பகுதி தளவிளைவுற்ற ஒளியை (Partial Polarised light) கொண்டுள்ளமை ஆய்வுகளின் மூலம் காணப்படுகின்றது. எதிரொளித்த பகுதி பெரும்பாலும் 'புள்ளி' வகை அதிர்வுகளையும், சில 'அம்புக்குறி' வகை அதிர்வுகளையும் கொண்டதாக உள்ளன. விலகலடைந்த ஒளி சில 'புள்ளி' வகை அதிர்வுகளையும், பெரும்பாலும் 'அம்புக்குறி' வகை அதிர்வுகளையும் கொண்டதாக உள்ளது. படம் 21.14 (*a*)-ல் இது தெளிவாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஆனால் படம் 21.14 (*b*)-ல் உள்ளது போன்று தளவிளைவுக் கோணம் $\varnothing_p$-ல் ஒளி படும் பொழுது 'புள்ளி' வகை அதிர்வுகள் மட்டுமே எதிரொளிக்கப் படுகின்றன. அதிலும் 15% மட்டுமே எதிரொளிக்கப் படுகின்றன. அம்புக்குறி வகை அதிர்வுகள் ஒன்று கூட எதிரொளிக்கப் படுவதில்லை. புள்ளி வகை 15% மட்டுமே எதிரொளிக்கப் படுவதால் செறிவு குறைந்த தளவிளைவு ஒளியாக உள்ளது. இருப்பினும் முழு தளவிளைவுற்ற ஒளியாக அமைகின்றது. விலகலடைந்த பகுதியில் எல்லா அம்புக்குறி அதிர்வுகளுடன் 85% புள்ளி வகை அதிர்வுகளும் சேர்ந்து பொலிவு மிக்கதாக உள்ளது. ஆனால், பகுதி தளவிளைவுற்ற ஒளியாக மட்டுமே இருக்கின்றது.

21.6 புரூஸ்டர் விதி

எதிரொளிக்கும் பரப்பு எந்த பொருளால் செய்யப் பட்டுள்ளதோ அதன் விலகல் எண்ணையும், வைக்கப் பட்டுள்ள ஊடகத்தையும் பொறுத்து தளவிளைவுக் கோணம் மாறும் என்

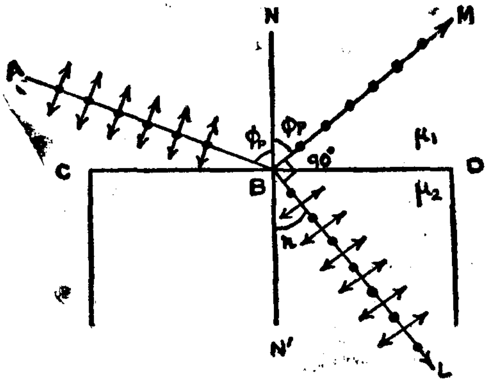
பதனை பல வகைப்பட்ட பரப்புகளில் செய்த ஆய்வுகள் மூலம் புரூஸ்டர் (Brewster) 1812-ம் ஆண்டு கண்டார். அவரது ஆய்வு களின் முடிவுகள்படி, தளவிளைவுக் கோணத்தின் "tan" மதிப் பானது, எதிரொளிக்கும் பரப்பு வைக்கப்பட்டுள்ள சூழலைப் பொறுத்த அதன் விலகல் எண்ணுக்குச் சமம் என்பதாகும். இதன்படி வெவ்வேறு பொருளால் செய்யப்பட்ட பரப்புகளுக்கு வெவ்வேறு தளவிளைவுக் கோணம் உண்டு என்பது தெளிவு. எனவே, μ_1 என்பது சூழலின் சார்பிலா விலகல் எண் என்றும், μ_2 பரப்பின் பொருளின் சார்பிலா விலகல் எண் என்றும் $\varnothing_p$ தளவிளைவு கோணம் என்றும் கொண்டால்,

$$\tan \varnothing_p = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$ ஆகும்.

இங்கு μ_1 காற்றில் விலகல் எண் என்றும், μ எதிரொளிக் கும் பரப்பு செய்யப்பட்ட பொருளின் விலகல் எண் எனவும் கொண்டால்,

$$\tan \varnothing_p = \mu$$

இதுவே புரூஸ்டர் விதியாகும்.



படம் 21.15

இந்த விதியைக் கொண்டு பார்த்தால் தளவிளைவுக் கோணத்தில் சதிர்படும் பொழுது, எதிரொளித்த ஒளிக்கும் விலகலடைந்த ஒளிக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் 90° என்பது தெரியும். படம் 21.15-ன் படி,

$$\frac{\sin \varnothing_p}{\sin r} = \mu \quad \text{(ஸ்னெல் விதி)}$$

புருஸ்டர் விதிப்படி,

$$\tan \varnothing_p = {}^1\mu_2$$

எனவே, $\tan \varnothing_p = \dfrac{\sin \varnothing_p}{\sin r}$ —— 1.

அல்லது, $\dfrac{\sin \varnothing_p}{\cos \varnothing_p} = \dfrac{\sin \varnothing_p}{\sin r}$ —— 2.

சமன்பாடுகள் 1, 2 இவைகளினால்

$$\cos \varnothing_p = \sin r$$

என்பது தெரியும்.

எனவே, $\sin (90 - \varnothing_p) = \sin r$

$(\because \cos \varnothing_p = \sin (90 - \varnothing_p))$

$$90 - \varnothing_p = r$$

அல்லது, $r + \varnothing_p = 90°$

படத்தில், $\angle NBM = \varnothing_p$ [∵ Angle of incidence $\varnothing_p$ = Angle of reflection]

எனவே, $\angle MBL = \angle NBN' - (\varnothing_p + r)$

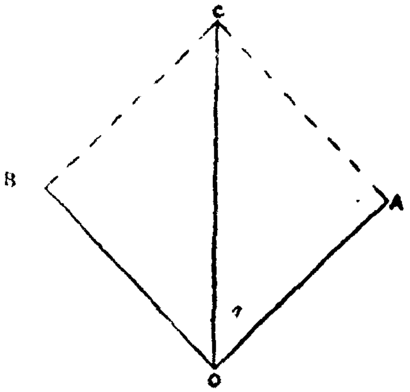
$$= 180° - 90° = 90°$$

ஆகவே, எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிர்களுக்கும், விலகலடைந்த கதிர்களுக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் 90° என்பது தெளிவு.

21.7 மாலுஸ் கோசைன் விதி

படம் 21.6-ல் உள்ள படிகம் P-யை தளவிளைவிப்பான் (Polariser) என்றும், Q-வை பகுப்பான் (Analyser) என்றும் கொண்டு அவற்றின் செயல்களைக் காண்போம். இரண்டு படிகங்களுக்கும் ஒளியியல் அச்சு இணையாக இருக்கும்பொழுது Q-வின் வழியாக வெளிவரும் தளவிளைவுற்ற ஒளியின் செறிவு பெருமமாக உள்ளது இதனை I_0 எனக் கொள்வோம். பகுப்பானைச் சுழற்றினால் வெளிவரும் ஒளியின் செறிவு குறைந்து கொண்டே வந்து சுழியமாகின்றது. இந்நிலையில் இரண்டு படிகங்களின் ஒளியியல் அச்சுகள ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக உள்ளன.

பகுப்பான் மூலம் வெளிவரும் ஒளிக்கு பெருமச் செறிவு இருக்கும் நிலையை குறித்துக் கொண்டு, அந்நிலையிலிருந்து அதனை θ கோணம் சுழற்றவும். இது பகுப்பானுக்கும் தளவிளைவிப்பானுக்கும் இடைப்பட்ட கோணமாகும். இப்பொழுது P-யினின்று Q-வின் மீது தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளி படுகின்றது. Q-வானது P-க்கு θ கோணத்தில் அமைந்து இருந்த போதிலும், படும் ஒளியில் ஒரு பகுதி கடத்தப்படுகின்றது. மீதிப் பகுதி எதிரொளிக்கப்படுகின்றது; அல்லது உட்கவரப்படுகின்றது.



படம் 21.16

படம் 21.16-ல் $OC = a$ என்பது படும் தளவிளைவு அலையின் வீச்சு. இதனை OA என்ற திசையிலும் OB என்ற திசையிலும் பார்த்தால்,

$$OA = a\cos\theta$$

$$OB = a\sin\theta$$

என்னும் மதிப்புகள் கிடைக்கும். OA திசையில் அமையும் பகுதி θ-வின் (படம் 21. 6) ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையாக அமைந்து அதன் வழியாக ஒளி கடத்தப்படுகின்றது எனில்,

கடத்தப்படும் ஒளியின் செறிவு $I \propto a^2\cos^2\theta$ ——— 1.

மேலும், $I_0 \propto a^2$ ——— 2.

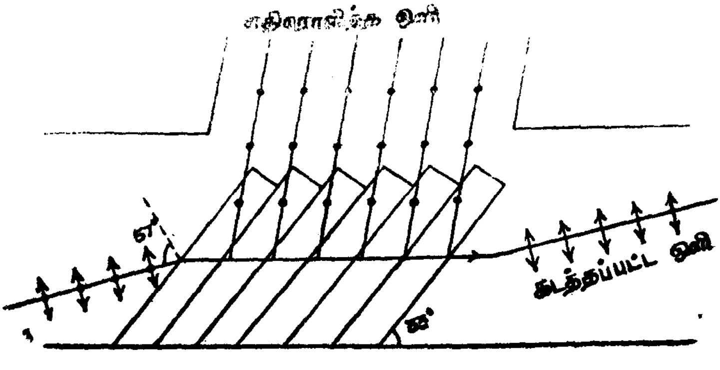
எனவே, $\frac{I}{I_0} = \cos^2\theta$

அல்லது, $I = I_0\cos^2\theta$ ——— 3.

இதனின்று பகுப்பானின்று வெளிவரும் ஒளியின் செறிவானது, தளவிளைவிப்பான் பகுப்பான் இரண்டினது ஒளியியல் அச்சுக்களுக்கு இடைப்பட்ட கோணத்தின் கோசைன் மதிப்பின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும் என்பது தெரிகின்றது. இது தான் மாலுஸ் கோசைன் விதி (Malus cosine law) எனப்படும்.

21.8 விலகல் மூலம் தளவிளைவு

தளவிளைவுரு இயற்கை ஒளியில் உள்ள அதிர்வுகள் எல்லா திசைகளிலும் அதிர்வு கொண்டபோதிலும் படும் தளத்திலேயே அமையும் அதிர்வுகளாகவும் (↕ அதிர்வுகள்), படும் தளத்திற்கு குத்தாக அமையும் (O அதிர்வுகள்) அதிர்வுகளாகவும் மட்டுமே கொள்ளலாம் எனப் பார்த்தோம். கண்ணாடித் தகடொன்றின் மீது தளவிளைவுக் கோணத்தில் இயற்கை ஒளியானது படும்பொழுது படுதளத்தில் குத்தாக உள்ள அதிர்வுகள் மட்டுமே எதிரொளிக்கப் படுகின்றன எனப் பார்த்தோம் இந்த குத்து அதிர்வுகளில் 15% மட்டுமே எதிரொளிக்கப்படுகின்றது. மிகுந்த 85% குத்து அதிர்வுகளும், எல்லா இணை அதிர்வுகளும் கண்ணாடித் தகட்டின் மூலம் கடத்தப் படுகின்றன. இரண்டு வகை அதிர்வுகளும் உள்ளமையால் கடத்தப்பட்ட ஒளியானது பகுதி தளவிளைவுற்றதாக உள்ளது; ஆனால், செறிவு மிக்கதாக உள்ளது.



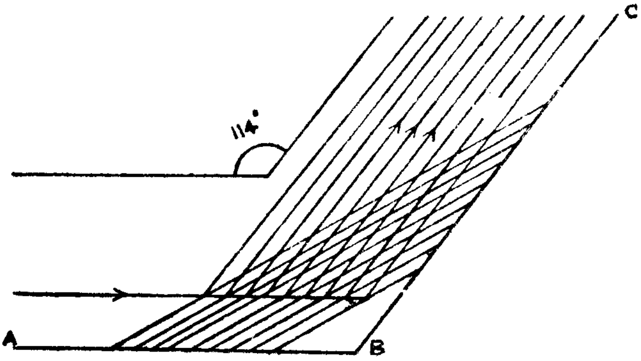
படம் 21.17

படம் 21.17-ல் பல கண்ணாடித் தகடுகளைக் கொண்டு அமைக்கப்பட்டுள்ள கண்ணாடித்தகடுகள் அடுக்கு (Pile of plates) காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் உள்ள தகடுகள் மிகச் சிறிய தடிமம் கொண்டவையாகும். இதனால், உட்கவர்தல் பெருமளவுக்கு குறைக்கப்படும். ஒவ்வொரு தகட்டின் வழியாகவும் ஒளிச் செல்லும் பொழுது அதிலுள்ள குத்து அதிர்வுகளில் 15% எதிரொளிக்கப்

படுவதால் 20 அல்லது 25 தகடுகள் அமைக்கப்பட்டால், கடத்தப் படும் ஒளியில் உள்ள அதிர்வுகள் முழுவதுமே படுகை தளத்தில் அமையும் (↕) இணை அதிர்வுகளாகவே இருக்கும். இதனால், கடத்தப்படும் ஒளியானது முழுமையாக தளத்தில் தளவிளை வுற்றதாக இருக்கும். எதிரொளித்த திசையில் அமையும் தளவிளை வுற்ற ஒளியும் செறிவு மிக்கதாக இருக்கும்.

கண்ணாடித் தகடுகள் அமைக்கப் பட்டுள்ள குழாயின் அச்சினுக்கு 33° சாய்வு கொண்டிருக்கும். படும் இயற்கை ஒளி யானது தளவிளைவுக் கோணமான 57°-யில் படுமாறு அமைக்கப் பட்டுள்ளன.

ஸ்டோக் என்பார் 20 முதல் 24 தகடுகளைக் கொண்டு கடத்தல் முறையில் தளவிளைவு ஒளியை பெரும்பொழுது, 90% படுதளத்தில் அமையும் அதிர்வுகளும், 10% படுதளத்திற்கு குத்து திசையில் அமையும் அதிர்வுகளும் இருப்பதைக் கண்டார். இத்துடன் மேலும் தகடுகளின் எண்ணிக்கையைக் கூட்டுவதினால் குத்து அதிர்வுகளின் அளவு 10%-க்கும் கீழ் குறையவில்லை என் பதனையும் கண்டார்.



படம் 21.18

அடுக்குத் தகடுகளைக் கொண்டு முழுவதும் தள விளைவுற்ற ஒளியினைப் பெறுவதற்கு படம் 21.18-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு முழங்கை வடிவ பொலரிஸ்கோப் (Elbow poloriscope) அமைக் கப்பட்டது. கண்ணாடித் தகடுகளின் அடுக்கு AB, BC என்னும் இரு குழாய்களுக்கும் சம அளவில் சாய்வு கொள்ளுமாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

AB என்னும் குழாயின் அச்சினுக்கு இணையாக அடுக்கின்மீது படும் ஒளிக்கதிரானது, தளவிளைவுக் கோணமான 57° படு

கோணத்தில் விழும். இதனால் படுதளத்திற்கு குத்து திசையில் அமையும் எல்லா அதிர்வுகளும் அடுத்தக் குழாயான BC-யின் அச்சினுக்கு இணையாக எதிரொளிக்கப்படும். எதிரொளிக்கும் ஒளி கிட்டதட்ட முழுமையான தள விளைவு பெற்றிருக்கும். கடத்தப்படும் ஒளியினை உட்கவரும் பொருட்டு, அடுக்குக்குப் பின்னால் அமையும் குழாய்களின் பகுதிகள் கருமையாக்கப் பட்டிருக்கும்.

வினாக்கள்

1. தள விளைவு என்றால் என்ன? அதிர்வு தளம், தள விளைவுத் தளம் ஆகியவைகளை விளக்குக. ஒளியலைகள் குறுக்கலைகள் என்று எவ்வாறு நிருபிப்பாய்?

2 பயட் தளவிளைவுமானியை விளக்குக. மாலுஸ் விதியைப் பெறுக. விலகல் மூலம் தளவிளைவுற்ற ஒளியைப் பெறுதல் குறித்து எழுதுக.

3. எதிரொளிப்பு மூலம் தளத்தில் தள விளைவுற்ற ஒளியைப் பெறுதல் எப்படி என்று விளக்குக. புரூஸ்டர் விதியைக் கூறுக. தளக் கண்ணாடித் தகடொன்றில் பெருமத் தள விளைவு ஏற்படும் பொழுது, படுகோணமும், விலகல் கோணமும் ஒன்றுக்கொன்று நிரப்பு கோணங்கள் என்று நிருபி.

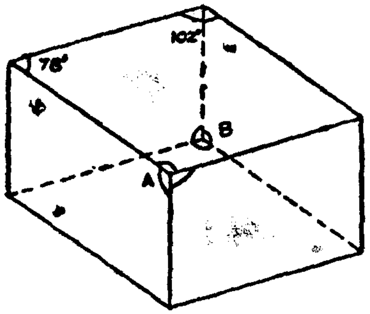
22. இரட்டை விலக்கம்

22.1 பர்தோலினஸ் (Bartholinus) என்னும் ஸ்வீடன் நாட்டு விஞ்ஞானி கால்சைட் (Colcite) படிகத்தின் வழியாக தளவிளைவுறு ஒளி செல்லும்பொழுது, இரண்டு விடுகதிர்களைக் கொடுக்கின்றது என்று 1669-ஆம் ஆண்டு கண்டு கூறினார். கண்ணாடி போன்ற ஊடகங்களில் விலகல் அடையும்பொழுது ஒரு விலகல் கதிர் வெளிவருவது எல்லோரும் அறிந்தது. எனவே, கால்சைட் படிகம் இரண்டு விலகல் கதிர்களைக் கொடுக்கும் இந்த நிகழ்வு இரட்டை விலக்கம்' (Double refraction) எனப்பட்டது. பின்னர் ஹாய்ஜன்ஸ் நியூட்டன் இருவரும் இந்த நிகழ்வினைப் பெரிதும் ஆராய்ந்தார்கள். இவர்கள் கொடுத்த முடிவுகளின்படி கிட்டத்தட்ட எல்லாப் படிகங்களும் இந்த நிகழ்வினைத் தோற்றுவித்தல் தெரிய வந்தது. இந்த விளைவினை கால்சைட், குவார்ட்ஸ், மைகா, சர்க்கரை போன்ற எல்லாப் படிகங்களும் கொடுக்கின்றன. இவற்றில் கால்சைட்டும், குவார்ட்சும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை. இப் படிகங்களைக் கொண்டு முறையாக இரட்டை விலக்கத்திற்கான ஆய்வை காண்பதற்கு முன்பு இப்படிகங்களின் வடிவ அமைப்புகளை பற்றிக் காண்போம்

22.2 படிகமொன்றின் வடிவியல் அமைப்பு

படிகங்களுக்கு உதாரணமாக கால்சைட்டை எடுத்துக் கொள்வோம். கால்சைட் அல்லது ஐஸ்லண்ட் ஸ்பார் (Iceland spar) என்பது படிக அமைவு பெற்ற கால்சியம் கார்பனேட் ($CaCO_3$) ஆகும். இது இயற்கையில் பல வடிவுகளில் அமைந்திருந்தபோதிலும் கனச் சாய்சதுர (Rhombohedral) வடிவில் அமையும் பொழுது முக்கிய மூன்று திசைகளிலும் சீர்மையுடன் அமைகின்றது. இக் கனசாய்சதுரத்தின் ஆறு முகப்புகளும், 102° கோணம் இரண்டும், 78° கோணம் இரண்டும் கொண்ட இணைகரச் சதுரங்களாக உள்ளன. படம் 22.1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு A, B ஆகிய மூலைகளில் அமையும் எல்லா கோணங்களும் 102° கொண்ட விரிகோணங்களாகும். மற்ற எல்லா மூலைகளிலும்

ஒரு கோணம் 102°, மற்ற இரு கோணங்களும் 78° ஆகவும் இருக்கும். எல்லா கோணங்களும் விரிகோணங்களாக அமையும் மூலைகள், மழுங்கிய மூலைகள் (blunt corners) எனப்படும்.



படம் 22.1

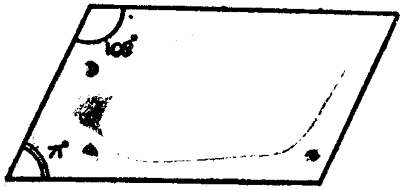
சாய்சதுரப் படிகத்தினுள் மழுங்கிய மூலைகளை இணைக்கும் நேர்கோட்டினுக்கு இணையாக உள்ள திசையொன்று ஒளியியல் அச்சு (Optic axis) எனப்படும். எனவே, ஒளியியல் அச்சு என்பது ஒரு திசையினையே குறிக்குமேயல்லாது, படிகத்தினுள் அமையும் குறிப்பிட்ட கோடல்ல. மழுங்கிய மூலைகளை இணைக்கும் கோடு என்று வரையறுத்தலும் சரியன்று. இப்படிகத்தினுள் அமையும் ஒவ்வொரு புள்ளியின் வழியாகவும் ஒளியியல் அச்சு வரைய இயலும். ஒளியியல் அச்சின் திசைக்கு இணையாகப்படும் ஒளிக் கதிரானது, இரண்டு கதிர்களாக விலகல் அடையாது. எனவே இந்நிலையில் விலகல் ஏற்படாது.

குவார்ட்ஸ் கால்சைட் போன்ற ஓர் ஒளியியல் அச்சு கொண்ட படிகங்கள் 'ஓரச்சுப் படிகங்கள்' என்றும், மைகா போன்று இரண்டு ஒளியியல் அச்சு கொண்ட படிகங்கள் 'ஈரச்சுப் படிகங்கள்' என்றும் கூறப்படும். இவ்வகைப் படிகங்களில் இரண்டு கதிர்களுக்கும் இரண்டு திசைகளில் சமமான திசைவேகம் இருக்கும்.

22.3 முதன்மைத் தளம் அல்லது முதன்மைப் பகுதி

ஒளியியல் அச்சினைக் கொண்டும், ஒளிபடும் பரப்பினுக்கு குத்தாகவும் அமையும் தளமொன்றுனது 'முதன்மைத் தளம்' எனப்படும். முதன்மைத் தளமானது வரையறுக்கப்பட்ட ஒரே தளமன்று. ஏனெனில், முதன்மைத் தளமெனக் கொள்ளும் தள மொன்றினுக்கு இணையாக அமையும் எல்லாத் தளங்களுமே

முதன்மைத் தளங்களாக அமையும். சாய்சதுரமொன்றில் அதன் ஒவ்வொரு புள்ளி வழியாகவும் மூன்று முதன்மைத் தளங்கள் செல்ல இயலும். கன சாய் சதுர வடிவில் உள்ள கால்சைட் படிகத்தின் முகப்பு பரப்பொன்றிற்கு முதன்மைத்



படம் 22.2

தளமானது படம் 22.2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு 109°, 71° கோணங்களைக் கொண்ணும் இணைகரத்தில் அமையுமாறு வெட்டுகின்றது.

22.4 ஒருபடித்தான ஊடகங்களும், ஒருபடியற்ற ஊடகங்களும்

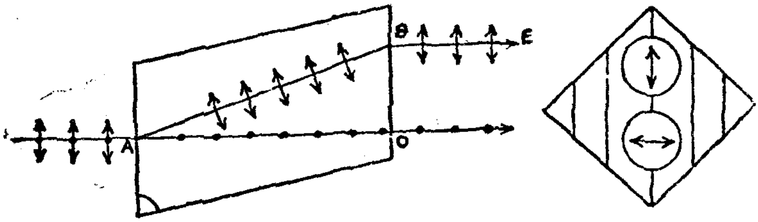
கண்ணாடி போன்ற ஊடகங்களில் ஒளிக் கதிர் பரவும் பொழுது எல்லா திசைகளிலும் சம திசை வேகம் கொள்கின்றது. ஊடகத்தினுள் பரவும் இரண்டாம் நிலை அலைகள் (Secondary wavelets) கோளப் பரப்புகளைக் கொண்டுள்ளன. இந்த வகை ஊடகங்கள், ஒருபடித்தான (Isotropic) ஊடகங்கள் எனப்படும்.

பொருண்மை ஒப்புமையாக அமைந்திருந்தபோதிலும் சில ஊடகங்களில் பரவும் ஒளியின் திசைவேகம் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாக இராது. இத்தன்மைக் கொண்ட படிகங்கள் ஒருபடியற்ற (Anisotropic) படிகங்கள், அல்லது அவற்றினுள் இரண்டு வகை ஹாய்ஜன்ஸ் அலை பரப்புகள் உள்ளமையால் இரட்டை விலக்கப் படிகங்கள் எனப்படும். இவ்வலைப் பரப்புகளில் ஒன்று கோள அலைமுகப்பையும், மற்றது நீள்வட்ட மூவாரவுரு அலைமுகப்பையும் (Ellipsoidal) கொண்டிருக்கும். இந்த இரண்டு அலை முகப்புப் பரப்புகளும் குறிப்பிட்ட திசையொன்றில் ஒன்றையொன்று தொட்டுக்கொள்ளும். இந்த திசையே இரட்டை விலக்கப் படிகத்தின் ஒளியியல் அச்சு எனப்படும்.

22.5 இரட்டை விலக்கம்

இரட்டை விலக்கத்தினை மிக எளிய ஆய்வொன்றின் மூலம் விளக்கலாம். வெள்ளைத்தாளின்மீது தெளிவான மைப்பொட்டு

(Ink dot) ஒன்று வைத்து அதன்மீது கால்சைட் படிகத்தினை வைக்கவும் மேற்பரப்பின்மூலம் மைப் பொட்டினைப் பார்த்தால், இரண்டு படிவங்கள் Images தோன்றும். படிகமானது தானின் தளத்தின்மீதே எப்பொழுதும் இருக்குமாறு கொண்டு, படிகத்தினைச் சுழற்றினால், இரண்டு படிவங்களில் ஒன்று நிலையாக இருக்கும்; மற்ற படிவம நிலையான படிவத்தினை ஒரு வட்டப் பாதையில் சுற்றும். இதில் நிலையாக உள்ள படிவம் சாதாரண படிவம் என்றும், சுழலும் படிவம் 'சிறப்புப் படிவம்' (Extra-ordinary image) என்றும் கூறப்படும். தள விளைவுறு ஒளிக் கதிரொன்றுக்கு இரண்டு விலகல் கதிர்கள் ஏற்படுவதினாலேயே இரண்டு படிவங்கள் உண்டாகின்றன.



படம் 22.3

படம் 22.3 ல் படிகத்தின் முதன்மைத் தளம் (Principle plane) ஒன்று காட்டப்பட்டுள்ளது. தள விளைவுறு ஒளியானது அதன் முகப்பொன்றில் படுகின்றது. இரட்டை விலகலினால் இரண்டு விலகு கதிர்கள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. கால்சைட் படிகத்தின் எதிர்முகப்புகள் எப்பொழுதும் இணையாக இருப்பதினால் படிகத்தினின்று வெளிவரும் கதிர்கள் படுகதிருக்கு இணையாகவே உள்ளன. எனவே இரண்டு விலக்கக் கதிர்களும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவே அமைகின்றன.

படுகதிரானது படிகத்தின் பரப்பொன்றின்மீது குத்தாக படும்பொழுது AO-கதிர் விலகல் அடையாமல் செல்கின்றது. இது சாதாரண கதிர் எனப்படும். இக் கதிரானது விலகல் விதிகள் இரண்டின் படியும் விலகல் அடையும். படுகதிரானது குத்தாக இருந்தபோதிலும் ABE என்னும் கதிரானது விலகல் அடைகின்றது. மேலும், இது விலகல் விதிகளுக்கு கட்டுப்படுவதில்லை. எனவே இது சிறப்புக் கதிர் (Extra ordinary) எனப்படும். சாதாரண கதிர் O-கதிர் என்றும் சிறப்புக் கதிர் E-கதிர் என்றும் அழைக்கப்படும்.

விலகல் விதிகளுக்குக் கட்டுப்படாமையால் E-கதிரானது வெவ்வேறு திசைகளில், வெவ்வேறு திசை வேகத்துடன் பரவுகின்றது எனலாம். ஆனால், விலகல் விதிகளுக்கு கட்டுப்படும் O-கதிர் எல்லா திசைகளிலும் சமமான திசைவேகத்துடனேயே பரவுகின்றது.

கால்சைட் படிகத்தில் இரட்டை விலக்கத்தினால் கிடைக்கும் இரண்டு கதிர்களையும் தள விளைவு தன்மைக்கு ஆய்ந்தபொழுது, O-கதிர், E-கதிர் இரண்டுமே தள, தள விளைவு பெற்றிருத்தல் தெரிய வந்தது. ஆனால் தள விளைவுகள் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக அமைந்துள்ளன. படம் 22.3-ல் புள்ளிகள் மூலம் காட்டப்பட்டுள்ள பகுதியான O-கதிரில் அதிர்வுகள் ஒளியியல் அச்சுக்குக் குத்தாக உள்ளன. இருபக்க அம்புக்குறிகள் மூலம் காட்டப்பட்டுள்ள பகுதியான E-கதிரின் அதிர்வுகள் முதன்மை தளத்தில் அமைந்துள்ளன. [அதிர்வுகளுக்கு குத்தாக அமைவது தான் தள விளைவுத் தளம் என்பது நினைவு கூறவேண்டியது. இதனால், O-கதிரின் தள விளைவுத் தளம் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாகவும், E-கதிரின் தளவிளைத் தளம் முதன்மைத் தளத்திற்கு குத்தாகவும் இருக்கும்] O-கதிருக்கான படிகத்தின் விலகல் எண் சாதாரண விலகல் எண் (Ordinary refractive index) எனப்படும். இது μ_o என்று குறிக்கப்படும். O-கதிருக்கு படிகத்தினுள் எல்லா திசைகளிலும் சமமான திசைவேகம் இருப்பதினால் μ_o மாறிலியாக இருக்கும். சோடியம் ஆவி விளக்கொளியினைக் கொண்டு கால்சைட் படிகத்திற்கு கணக்கிடப்பட்ட μ_o-வின் மதிப்பு 1.658 ஆகும்

E-கதிருக்கான விலகல் எண் சிறப்பு விலகல் எண் எனப்படும். இது μ_e என்று குறிக்கப்படும். E-கதிருக்கு படிகத்தினுள் வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு திசைவேகம் அமைவதினால் μ_e-ன் மதிப்பு திசைக்கு திசை மாறும். ஆனால் இச் சிறப்பு E-கதிரானது ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையாகப் பரவினால், O-கதிருக்கான திசை வேகத்தையே கொள்ளும். ஆனால், ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையற்ற மற்ற எந்த திசையில் E-கதிர் பரவினாலும் இதன் திசைவேகம் அதிகமாகவே யுள்ளது. அதிலும் ஒளியியல் அச்சினுக்கு குத்துத் திசையில் பரவும்பொழுது பெரும திசை வேகத்தினைக் கொண்டுள்ளது. எனவே, E கதிரானது ஒளியியல் அச்சின் திசையில் பரவும் பொழுது O-கதிருக்கான ஒளி விலகல் எண் மதிப்பான 1.658-யையும், குத்து திசையில் பரவும்பொழுது 1.486 விலகல் எண்ணையும் காண்டுள்ளது

கீழ்காணும் அட்டவணையில் சில படிகங்களுக்கான சாதாரண விலகல் எண் (μ_o)-களும் சிறப்பு விலகல் எண் (μ_e)-க்களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

படிகம்	μ_o	μ_e
கால்சைட் ($CaCO_3$)	1.658	1.486
குவார்ட்ஸ் (SiO_2)	1.544	1.553
சோடியம் நைட்ரேட் ($NaNO_3$)	1.587	1.336
டூர்மலின்	1.64	1.62
பனிக்கட்டி	1.306	1.307

22.6 ஹாய்ஜன்ஸ் இரட்டை விலக்கக் கொள்கை.

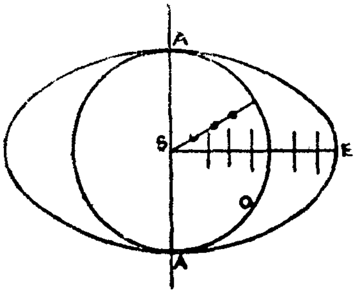
ஒளி பரவுதலுக்கு ஹாய்ஜன்ஸ், அவர் உண்டாக்கிய இரண்டாம் நிலை அலைகள் கொள்கையினை அடிப்படையாகக் கொண்டு, இரட்டை விலக்கத்திற்கும் கொள்கையொன்றினை ஏற்படுத்தினர். அவரது கொள்கையின் அடிப்படைகளாவன:—

(1) ஒரச்சுப் படிகங்களில் படும் ஒளியலைகளினுல் தூண்டப்பட்ட ஒவ்வொரு புள்ளியினின்றும் இரண்டு வகை அலைமுகப்புகள் (Wave fronts) அல்லது அலைப் பரப்புகள் பரவத் தொடங்குகின்றன.

(2) இரண்டு அலைப் பரப்புகளில் *O*-கதிருக்கான திசைவேகமானது எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாக அமைவதினால் உண்டாகும் அலைப்பரப்பு கோளகப் பரப்பாகும்.

(3) *E*-கதிருக்கான திசைவேகம் திசைக்குத் திசை மாறுமாதலால், இதற்கான அலைப்பரப்பு நீள்வட்ட சுழற்சிப் பரப்பு (Ellipsoid of revolution)-ஆக இருக்கும். அதாவது, நீள் வட்டம் (Ellipse) ஒன்றை அதன் பேரச்சு (Major axis) அல்லது சிற்றச்சு (Minor axis) இரண்டில் ஏதேனும் ஒன்றைப்பற்றி சுழற்றுவதினால் ஏற்படும் பரப்பாகும்.

ஒளியியல் அச்சின் திசையில் O-கதிர், E-கதிர் இரண்டுகளும் சமமாக இருப்பதினால், ஒளியியல் அச்சு வெட்டுப் படங்களின் அலைப் பரப்புகள் ஒன்றையொன்று தொட்டுக்கொண்டிருக்கும்.



படம் 22.4

22.7 எதிர் படிகங்கள்

கால்சைட், டூர்மலின் போன்ற படிகங்களில் படம் 22.4-ல் உள்ளதைப் போன்று கோளக அலை முகப்பானது முற்றிலும் நீள்வட்ட சுழற்சிப் பரப்பினுள் உள்ளடங்கி இருக்கும். மேலும், படத்தில் படிகத்தினுள் அமைந்துள்ள புள்ளி ஒளிமூலம் S-ம், இரண்டு அலைப் பரப்புகள் பரவும் திசைகளும் காட்டப்பட்டுள்ளன. படத்தில் உள்ள அவைவை AA என்னும் அச்சினைப் பற்றி சுழற்றினால் உண்மையான அலைப் பரப்புகளின வடிவங்கள் கிடைக்கும். இவ்வாறனைப் படிகங்கள் எதிர் படிகங்கள் (Negative crystals) எனப்படும். இதுபோன்ற படிகங்களில்,

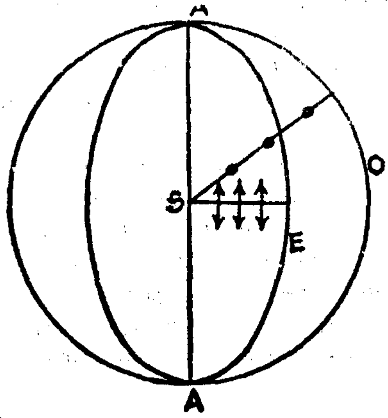
(i) சிறப்புக் கதிரான E-கதிர் ஒளியியல் அச்சில்லாத மற்ற திசைகளில் வேகமாகப் பரவுகின்றது.

(ii) O-கதிருக்கு எல்லாத் திசைகளிலும் சமமான ஒரே திசை வேகம் உள்ளது. E கதிருக்கு வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு திசைவேகம் உள்ளது. E-கதிருக்கான குறைந்த அளவு திசை வேகம் ஒளியியல் அச்சுத் திசையிலும், பெரும திசை வேகம் ஒளியியல் அச்சினுக்கு குத்துத்திசையிலும் உள்ளது.

(iii) E-கதிருக்கு விலகல் எண் திசைக்கேற்ப மாறிக் கொண்டேயுள்ளது. ஒளியியல் அச்சுத் திசையில் பெரும மதிப்பும், ஒளியியல் அச்சினுக்கு குத்துத் திசையில் சிறும மதிப்பும் உண்டாகிறது. μ_e-வின் பெரும மதிப்பு μ_o அளவு மட்டுமே யாகும்.

22.8 நேர் படிகங்கள்

பனிக்கட்டி, குவார்ட்ஸ் போன்ற படிகங்களில் படம் 22. -ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு நீள்வட்ட சுழற்சிப் பரப்பானது



படம் 22.5

கோளகப் பரப்பினுள் முற்றிலுமாக உள்ளடங்கியிருக்கும். மேலும், படத்தில் படிகத்தினுள் அமைந்துள்ள புள்ளி ஒளிமூலம் S-ம், இரண்டு அலைப் பரப்புகள் பரவும் திசைகளும் காட்டப்பட்டுள்ளன. படத்தில் உள்ள அமைவை AA என்னும் அச்சினைப் பற்றி சுழற்றினால் உண்மையில் அமையும் அலைப் பரப்புகளின் வடிவங்கள் கிடைக்கும். இவ்வாறனப் படிகங்கள் நேர்ப் படிகங்கள் (Positive crystals) எனப்படும். இதுபோன்ற படிகங்களில்,

(i) சாதாரணக் கதிரான O-கதிருக்கு E-கதிரைவிட எல்லாத் திசைகளிலும் திசைவேகம் அதிகமாக உள்ளது. ஆனால் ஒளியியல் அச்சுத் திசையில்மட்டும் இரு கதிர்களுக்கும் சமமான திசைவேகம் உள்ளது.

(ii) இதனால் μ_o ஆனது μ_e-ஐ விட ஒளியியல் அச்சு திசையற்ற மற்ற திசைகளில் குறைவாகவும், ஒளியியல் அச்சு திசையில் மட்டும் μ_e-க்குச் சமமாகவும் உள்ளது.

(iii) μ_e ஆனது பெரும, சிறும மதிப்புகளைக் கொள்கின்றது. ஒளியியல் அச்சுத் திசையில், சிறும மதிப்பையும் ($\mu_e = \mu_o$), ஒளியியல் அச்சின் திசைக்கு குத்தான திசையில் பெரும மதிப்பையும் கொள்கின்றது.

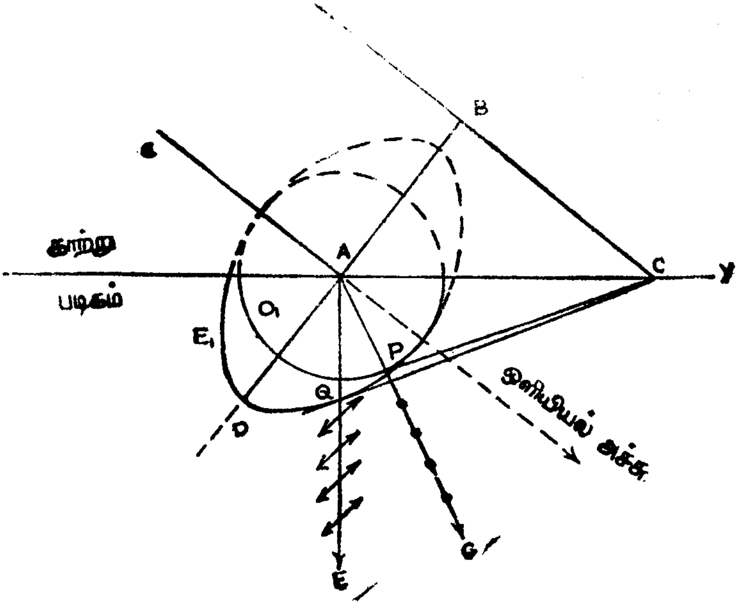
22.9 ஓரச்சுப் படிகங்களில் ஹாய்ஜன்ஸ் கொள்கைப்படி அலைப் பரப்புகளை ஏற்படுத்தல்

ஒளியியல் அச்சானது படிகத்தின் நிலையைப் பொறுத்து படுகதிர்களுக்கு பலவிதமான நிலைகளில் அமையும். இதனால் பல

நிலைகளில் படிகத்தினுள் அலைப் பரப்புகள் ஏற்படும். உதாரணமாக கதிர்படும் தளத்திலேயே ஒளியியல் அச்சு அமைந்தும், அதே நேரத்தில் படிகப் பரப்பினுக்கு சாய்வாகவும் அமைந்திருக்கலாம். இவ்வாறு படிகம் இருக்கையில், கதிர் சாய்வு படுகையிலும், குத்துப் படுகையிலும் படக்கூடும். அடுத்து ஒளியியல் அச்சானது படுதளத்தில் அமைந்து படிகப் பரப்பிற்கு இணையாக இருக்கலாம். இப்பொழுது குத்துப்படுகை, சாய்வு படுகை என இரண்டு நிலைகளில் கதிர் படும்பொழுது எவ்வாறு அலைப் பரப்புகள் ஏற்படுகின்றன என்று கருதவேண்டும். இவ்வாறு ஒளியியல் அச்சின் நிலையைப் பொறுத்து ஏற்படும் பல நிலைகளுக்கேற்ப ஏற்படக்கூடிய அலைப்பரப்புகள் அமையும் முறைகளை ஹாய்ஜன்ஸ் ஏற்படுத்தியவாறு காண்போம்.

(a) ஒளியியல் அச்சானது கதிர்கள் படும் தளத்தில் அமைந்து படிகப் பரப்புக்கு சாய்ந்துள்ள நிலை

(i) சாய்வு படுகை



படம் 22.6

படம் 22.6-ல் எதிர்படிகமொன்றின் பரப்பான AY-ன் மீது சாய்வாக கதிர்கள் படும் நிலை காட்டப்பட்டுள்ளது. AB என்பது

அலைமுகப்பாகும். கதிர்கள் படும் திசையிலேயே ஒளியியல் அச்சு அமைந்துள்ளது. O_1 என்பது ஊடகத்தினுள் ஏற்படும் சாதாரண கதிருக்கான கோளக அலைமுகப்பு. E_1 என்பது ஊடகத்தினுள் ஏற்படும் சிறப்புக் கதிருக்கான நீள்வட்டச் சுழற்சிப் பரப்பு வடிவ அலை முகப்பு. CP என்பது கோளக அலை முகப்பை P-யில் தொடும் தொடுகோடு. CQ என்பது நீள்வட்ட சுழற்சிப் பரப்பை Q-வில் தொடும் தொடுகோடு.

படத்தில் உள்ளபடி படுஅலைமுகப்பிலுள்ள A என்னும் புள்ளிதான் AY என்னும் பரப்பின்மீது முதலில் படுகின்றது. அலை முகப்பின் B என்னும் புள்ளியானது AY பரப்பினை C-யில் அடைவதற்குள் A-ல் விலகலினால் ஏற்படும் சாதாரண கதிர் AP தொலைவும், சிறப்புக் கதிர் AQ தொலைவும் செல்கின்றன. காற்றில் ஒளியின் திசைவேகத்தை v_a எனக் கொள்வோம். படிகத்தினுள் சாதாரண கதிருக்கு திசைவேகம் v_o என்றும் சிறப்புக் கதிருக்கு v_e என்றும் கொள்வோம். எனவே,

$$\frac{BC}{v_a} = \frac{AP}{v_o} = \frac{AQ}{v_e} \qquad \text{------ 1.}$$

என்று எழுதலாம்.

எனவே,

$$AP = \frac{BC}{v_a} \times v_o = \frac{BC}{\mu_o} \quad \left[\because \frac{v_o}{v_a} = \frac{1}{\mu_o}\right] \qquad \text{------ 2.}$$

$$AQ = \frac{BC \times v_e}{v_a} = \frac{BC}{\mu_e} \quad \left[\because \frac{v_e}{v_a} = \frac{1}{\mu_e}\right] \qquad \text{------ 3.}$$

இங்கு μ_o, μ_e என்பவை முறையே சாதாரணக் கதிருக்கும், சிறப்புக் கதிருக்கும் காற்றைப் பொருத்த படிகத்தின் விலகல் எண்கள். படம் 22 6-ல் CP, CQ என்பவை படிகத்தினுள் முறையே சாதாரணக் கதிர்களுக்கும், சிறப்புக் கதிர்களுக்குமான விலகல் அலை முகப்புகளாகும். எனவே, சாதாரணக் கதிர்களும், சிறப்புக் கதிர்களும் வெவ்வேறு திசை வேகங்களுடன் பரவுதல் தெளிவு. μ_E என்பது சிறப்புக் கதிருக்கு நீள் வட்டத்தின் பேரச்சின் வழியாகச் செல்லும் கதிருக்கான முதன்மை விலகல் எண் (Principle refractive index) எனில், பேரச்சின் பாதி நீளம்

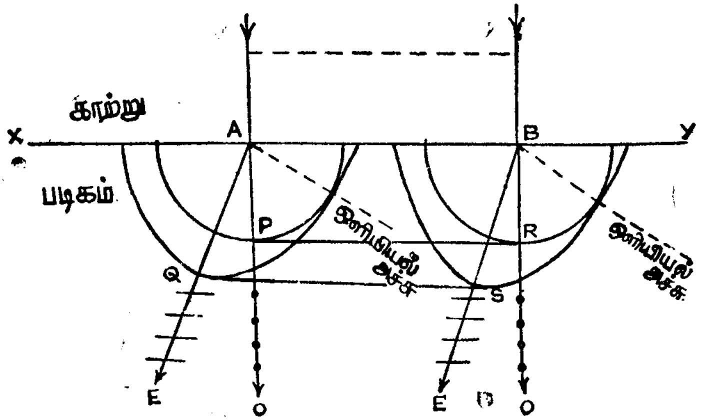
$$a = \frac{BC}{\mu_E} \text{ ஆகும்.}$$

அதே சமயம் சிற்றச்சின் பாதி நீளம்

$$\varnothing = \frac{BC}{\mu_o} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, $\mu_E < \mu_e < \mu_o$ ஆகும். அதாவது பேரச்சின் வழியாக சிறும அளவு விலகல் எண்ணும் இருக்கும். மற்ற திசைகளில் இவ்விரு மதிப்புகளுக்குமிடைப்பட்ட அளவு (μ_e) இருக்கும்.

(ii) குத்துப் படுகை

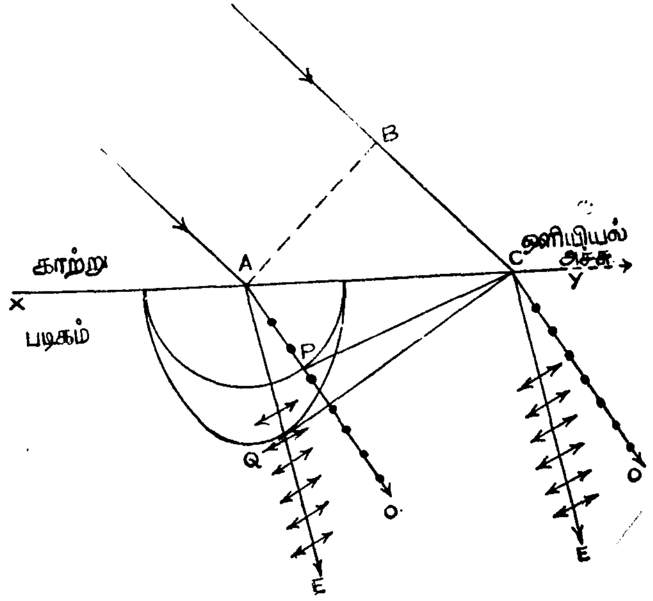


படம் 22.7

எதிர் படிகப் பரப்பு XY-ன் மீது, AB என்னும் அலை முகப்பினது கதிர்கள் குத்தாகப்படுவதைப் படம் 22.7 காட்டுகின்றது. விலகலுக்குப் பின்னரும் அலை முகப்பானது படிகப் பரப்பினுக்கு இணையாக உள்ளது. விலகலடைந்த சாதாரணக் கதிர்களால் உண்டாக்கப்படும் கோளக அலைப் பரப்புகளுக்கு தொடுவியலாக PR என்னும் விலகல் அலைமுகப்பு உள்ளது. அதே போன்று விலகலடைந்த சிறப்புக் கதிர்களுக்கு உண்டாகும் நீள்வட்ட சுழற்சிப் பரப்புகளுக்கு தொடுவியலாக QS என்னும் விலகல் அலை முகப்பு உள்ளது. சாதாரணக் கதிர்களுக்கு உண்டாகும் அலை முகப்பு PR-ம், சிறப்பு கதிர்களுக்கு உண்டாகும் அலை முகப்பு QS-ம் இணையாக உள்ளன. இருப்பினும் AO, PR-க்கு குத்தாகவும் AE, QS-க்கு குத்தாக இல்லாமையாலும், இரண்டு கதிர்களும் வெவ்வேறு திசைகளில் பரவுகின்றன.

(*b*) ஒளியியல் அச்சு படுகை தளத்தில் அமைந்திருப்பதுடன் படிகப் பரப்புக்கு இணையாக இருக்கும் நிலை

(i) சாய்வுப் படுகை



படம் 22.8

படம் 22.8-ல் எதிர்படிகப் பரப்பான XY-ன் மீது சாய்வுப் படுகையில் விழும் கதிர்களுக்கான அலைமுகப்பு AB ஆகும். ஒளியியல் அச்சானது கதிர்கள் படும் தளத்தில் அமைந்திருப்பதுடன் படிகப் பரப்புக்கு இணையாக உள்ளது. A-யில் கதிர் பட்டவுடன் இரட்டை விலகலினால் உண்டாகும் கோளகப்பரப்பும் நீள் வட்ட சுழற்சிப் பரப்பும் XY கோட்டின் மீதே ஒன்றை ஒன்று தொட்டுக் கொள்கின்றன. [அதாவது ஒளியியல் அச்சு XY திசையில் அமைந்துள்ளது]

மேலும் படத்திலிருந்து,

$$\frac{BC}{\nu_a} = \frac{AP}{v_o} = \frac{AQ}{\nu_e} \qquad \text{—— 1.}$$

ஆகும்.

இங்கு, v_a காற்றில் திசை வேகம், v_o படிகத்தினுள் சாதாரண கதிருக்கான திசை வேகம் மற்றும் ν_e என்பது சிறப்புக் கதிருக்கு AQ திசையில் உள்ள திசைவேகம் ஆகும்.

எனவே, சமன்பாடு 1-லிருந்து

$$AP = \frac{BC \times \nu_o}{\nu_a} = \frac{BC}{\mu_o} \qquad ——2.$$

$$AQ = \frac{BC \times \nu_e}{\nu_a} = \frac{BC}{\mu_e} \qquad ——3.$$

என்று எழுதலாம். இங்கு μ_e என்பது AQ திசையில் சிறப்புக் கதிருக்கான விலகல் எண் ஆகும். சாதாரணக் கதிரும் சிறப்புக் கதிரும் வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு திசைவேகங்களுடன் பரவுகின்றன. μ_E என்பது நீள்வட்டத்தின் பேரச்சு திசையில் அமையும் முதன்மை விலகல் எண் எனில், பேரச்சின் பாதி நீளம்

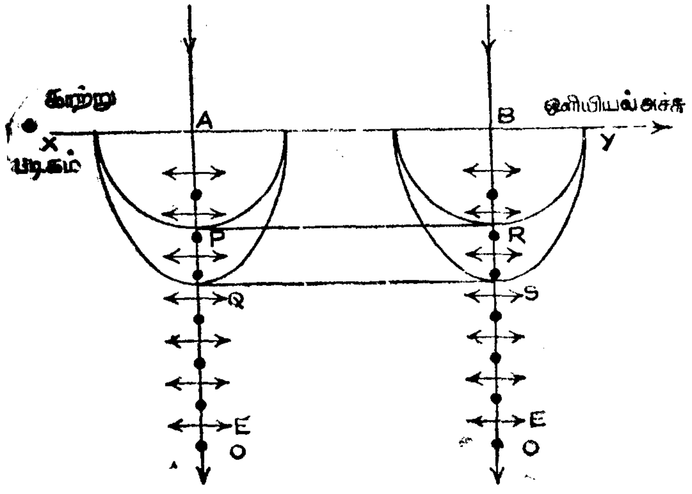
$$a = \frac{BC}{\mu_E} \text{ ஆகும்.}$$

அதே போன்று சிற்றச்சின் பாதி நீளம்

$$b = \frac{BC}{\mu_o} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே, $\mu_E < \mu_e < \mu_o$

(ii) குத்துப் படுகை



படம் 22.9

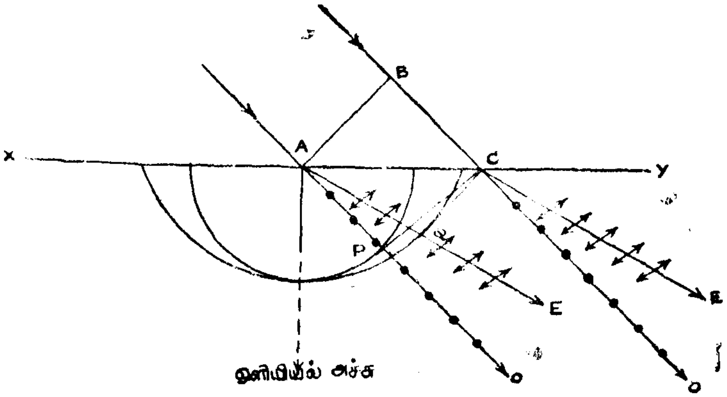
படம் 22.9-ல் எதிர்படிகத்தின் ஒளியியல் அச்சானது பரப்பு XY-க்கு இணையாக இருக்கையில், பரப்பின் மீது குத்தாக அலை முகப்பு AB விழுவதாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது. PR என்பது விலகலடையும் சாதாரணக் கதிர்களுக்கான அலைமுகப்பாகும்.

QS என்பது சிறப்புக் கதிர்களுக்கான அலைமுகப்பாகும். அலை முகப்புகள் *PR*, *QS* இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக உள்ளன. சாதாரணக் கதிர்களும் சிறப்புக் கதிர்களும் ஒரே திசையில் பரவுகின்றன ஆனால் அவை வெவ்வேறு திசை வேகங்களுடன் பரவுகின்றன. சிறப்புக் கதிரானது சாதாரணக் கதிரைவிட அதிக திசை வேகத்தில் பரவுகின்றது.

இவ்வகைப் படிகத்திலேயும், குத்துப் படுகையும் ஏற்படும் படிக் கொண்டால் விலகலடையும் சாதாரணக் கதிரும் சிறப்புக் கதிரும் ஒரே திசையில் வெவ்வேறு திசை வேகங்களுடன் பரவுகின்றன. இதனால் அவற்றிற்கிடையே பாதை வேறுபாடொன்று உண்டாக்கப்படும். வட்ட தளவிலைவுற்ற ஒளி, நீள்வட்ட தள விலைவுற்ற ஒளி இவைகளை ஏற்படுத்துவதில் பெரிதும் பயன் படும் கால் அலைத் தகடு Quarter wave plate), அரை அலைத் தகடு (Half wave plate) ஆகியவைகளை அமைத்தலுக்கு இவ் வகையில் உள்ள படிகங்கள் மிகவும் ஏற்றவையாக உள்ளன.

(c) ஒளியியல் படுகைத் தளத்தில் அமைந்து படிகப் பரப்புக்கு குத்தாக இருக்கும் நிலை

(i) சாய்வுப் படுகை



படம் 22.10

படம் 22.10-ல் எதிர்படிக பரப்பான *XY*-ன் மீது சாய் வாகப் படும் கதிர்களுக்கான அலைமுகப்பாக *AB* உள்ளது. கதிர்கள் படும் தளத்தில் ஒளியியல் அச்சு அமைந்துள்ளது. அதே நேரத்தில் *XY*-க்கு குத்தாக உள்ளது. *A*-யில் இரட்டை விலகலுக்குப் பின்னர் பரவும் சாதாரணக் கதிருக்கான கோள அலைமுகப்பும், சிறப்புக் கதிருக்கான நீள் வட்ட சுழற்றிப்

பரப்பும், ஒளியியல் அச்சு திசையில் ஒன்றையொன்று சந்திக்கின்றன.

$$\text{இங்கு} \quad \frac{BC}{v_a} = \frac{AP}{v_o} = \frac{AQ}{v_e} \qquad \text{—— 1.}$$

ஆகும்.

AQ திசையில் உள்ள சிறப்புக் கதிருக்கான திசை வேகம் v_e ஆகும்.

$$\therefore \quad AP = \frac{BC \times v_o}{v_a} = \frac{BC}{\mu_o} \qquad \text{—— 2.}$$

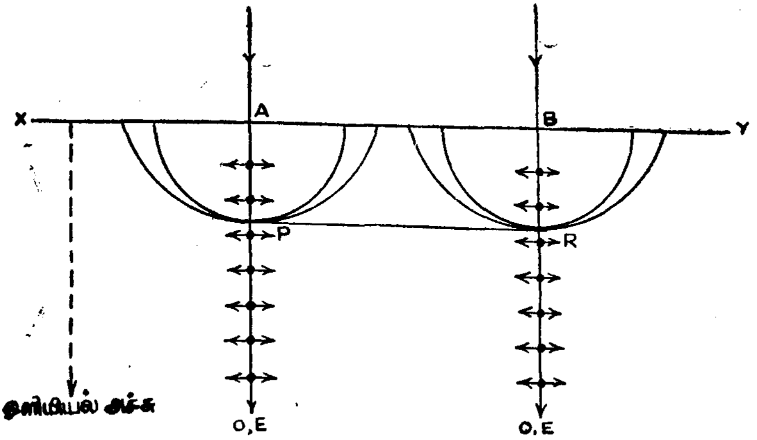
$$AQ = \frac{BC \times v_e}{v_a} = \frac{BC}{\mu_e} \qquad \text{—— 3.}$$

இங்கு μ_e, *AQ* திசையில் சிறப்புக் கதிருக்கான விலகல் எண் ஆகும்.

சாதாரணக் கதிர்களும், சிறப்புக் கதிர்களும் வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு திசை வேகங்களுடன் பரவுகின்றன. *CP* விலகலடைந்த சாதாரணக் கதிர்களுக்கான அலைமுகப் பாகும். *CQ* விலகலடைந்த சிறப்புக் கதிர்களுக்கான அலைமுகப் பாகும். சிறப்புக் கதிருக்கான முதன்மை விலகல் எண் μ_e எனில், நீள் வட்டத்தின் பேரச்சின் பாதி நீளம்,

$$a = \frac{BC}{\mu_e} \quad \text{ஆகும்.}$$

(ii) குத்துப் படுகை



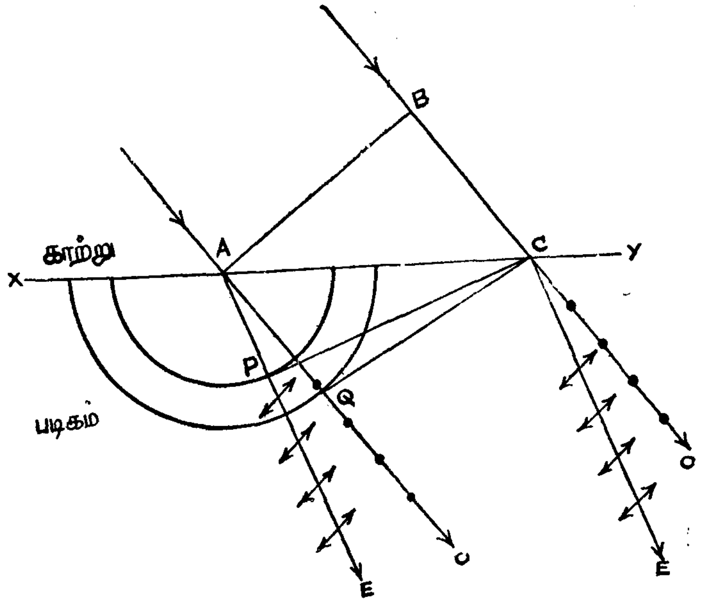
படம் 22.11

படம் 22.11-ல் எதிர் படிகமொன்றின் பரப்பான XY-ன் மீது குத்தாகப் படும் கதிர்களுக்கான அலைமுகப்பு AB படுவதாக உள்ளது. ஒளியியல் அச்சானது படும் தளத்தில் அமைந்து படிகப் பரப்புக்கு குத்தாக உள்ளது.

A-யில் இரட்டை விலக்கத்திற்குப் பிறகு பரவும் கோளாக அலைமுகப்பு, நீள் வட்ட சுழற்சிப் பரப்பு இரண்டும் P-ல் ஒன்றை யொன்று தொடுகின்றன [கதிர்கள் படும் திசைக்கு இணையாக ஒளியியல் அச்சு உள்ளது] எனவே, சாதாரணக் கதிர், சிறப்புக் கதிர் இரண்டும் சம திசை வேகத்தில் ஒளியியல் அச்சு திசையில் பரவுகின்றன. எனவே இரண்டும் பிரிக்கப்படுவதில்லை. இரண்டு கதிர்களுக்குமே விலகல் எண் சமமாக உள்ளது.

(d) ஒளியியல் அச்சு படுகை தளத்திற்கு குத்தாக அமைந்து படிக பரப்புக்கு இணையாக இருக்கும் நிலை

(i) சாய்வுப் படுகை



படம் 22.12

படம் 22.12 ல் எதிர் படிகமொன்றின் XY பரப்பின் மீது சாய்வாகப் படும் கதிர்களுக்கான அலைமுகப்பாக AB அமைந்

துள்ளது. (படுகை தளத்திற்கு, அதாவது தாளின் பரப்பிற்கு குத்தாக ஒளியியல் அச்சு உள்ளது. [எனவே படத்தில் காட்டப் படவில்லை]. படிகத் தளத்திற்கு இணையாக ஒளியியல் அச்சு உள்ளது. விலகலுக்குப் பின்னர் ஒளியிய அச்சினைக் (தாளுக்கு குத்தான அச்சினை) கொண்டு கோளக சுழற்சிப் பரப்புகள் உண்டாவதால், சாதாரண கதிர்களுக்கான அலைமுகப்பு சிறப்புக் கதிர்களுக்கான அலைமுகப்பு இரண்டின் குறுக்கு வெட்டு தோற்றங்களும் வட்டங்களாகவே இருக்கும். B யிலிருந்து கதிரானது C-யை அடைவதற்குள் சிறப்புக் கதிர் Q-வையும், சாதாரண கதிர் P-யையும் அடைகின்றன.

$$\text{எனவே,}\quad \frac{BC}{v_a} = \frac{AP}{v_o} = \frac{AQ}{v_E} \qquad \text{——— 1.}$$

சமன்பாடு 1-லிருந்து,

$$AP = \frac{BC \times v_o}{v_a} = \frac{BC}{\mu_o} \qquad \text{——— 2.}$$

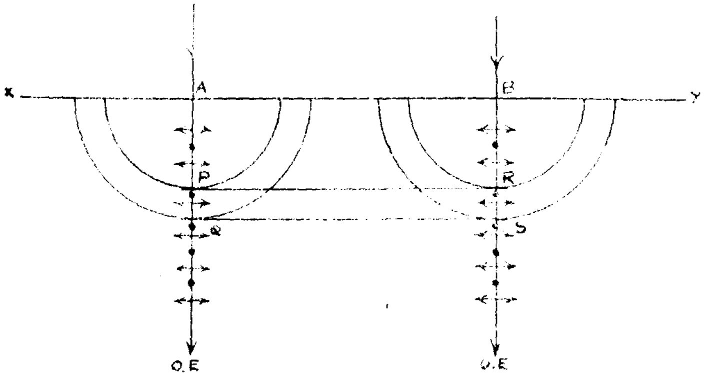
$$AQ = \frac{BC \times v_E}{v_a} = \frac{BC}{\mu_E} \qquad \text{——— 3.}$$

என்பவை கிடைக்கும்.

ஆகவே, சாதாரண கதிருக்கான கோளக அலைமுகப்பின் ஆரம் $\frac{BC}{\mu_o}$-வாகவும், சிறப்புக் கதிருக்கான அலை முகப்பின் ஆரம் $\frac{BC}{\mu_E}$ ஆகவும் இருக்கும். இந்தவகை அமைப்பினுல்தான், தாளின் தளத்தில் அமையும் எல்லாச் சிறப்புக் கதிர்களுக்கும் சமதிசை வேகமிருக்கும். எனவே, விலகலுக்கான ஸ்னெல் விதியை இக் கதிர்கள் சரி செய்யும். சாதாரணக் கதிர்களும், சிறப்புக் கதிர் களும் வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு திசை வேகங்களுடன் பரவுகின்றன. CP சாதாரண கதிர்களுக்கான விலகல் அலை முகப்பு. CQ சிறப்புக் கதிருக்கான விலகல் அலைமுகப்பு.

(ii) குத்துப் படுகை

ஒளியியல் அச்சானது தாளின் பரப்பிற்கு குத்தாக அமைந்து படிகப் பரப்பு XY-க்கு இணையாக இருக்கும் பொழுது கதிர்கள் குத்தாகப் பரப்பின் மீது படும் நிலை படம் 22.13 ல் காட்டப்



படம் 22.13

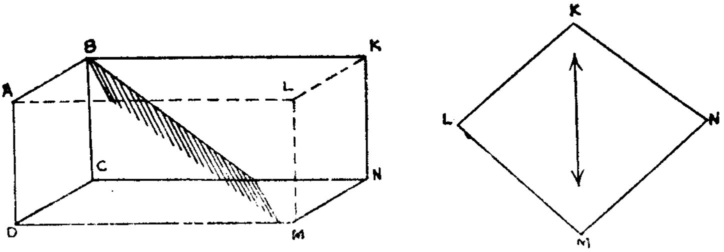
பட்டுள்ளது. அலைப்பரப்புகள் தாளின் தளத்தில் வட்டங் களாகவே அமையும். விலகலுக்குப் பின்னர் சாதாரணக் கதிர் களும், சிறப்புக் கதிர்களும் வெவ்வேறு திசை வேகங்களுடன் ஆனால் ஒரே திசையில் பரவுகின்றன. A-ல் இரண்டாம் நிலை அலைகள் தோன்றிப் பரவிய 't' காலத்திற்குப் பின்னர் சாதாரணக் கதிரின் அலைமுகப்பு $v_O \times t$ தொலைவும், சிறப்புக் கதிருக்கான அலை முகப்பு $v_E \times t$ தொலைவும் பரவும். எனவே, அவற்றின் ஆரங்கள் முறையே $(v_O \times t)$, $(v_E \times t)$ ஆகும். PR என்பது சாதாரண கதிருக்கான விலகல் அலைமுகப்பு. QS என்பது சிறப்புக் கதிருக்கான விலகல் அலைமுகப்பு. இரண்டு கதிர்களுமே விலகல் விதிகளின்படி அமையும்.

22.10 நைக்கல் பட்டகம்

இரட்டை விலக்கத்தினை அடிப்படையாகக் கொண்டு 1833-ம் ஆண்டில் நைக்கல் (Nicol) என்பவரால் கால்சைட் படிகத்தினைக் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட பட்டகம் நைக்கல் பட்டகமாகும். கால்சைட் படிகமானது அதன் மூலம் செல்லும் இயற்கை ஒளியை இரட்டை விலக்கம் அடையும்படி செய்கின்றது. இதனால் சாதாரணக் கதிர் (O-கதிர்), சிறப்புக் கதிர் (E-கதிர்) இரண்டும் உண்டாக்கப் படுகின்றன. இவை இரண்டும் தள விளைவு கொண்டவைகளாக உள்ளன. இவற்றில் ஒன்றை எப்படி யாவது நீக்கி விட்டு மற்றதை மட்டும் வெளிவரும்படி கால்சைட் படிகத்தினை நைக்கல் (Nicol) அமைத்தார். இவ்வாறு அமைத்த இந்தப் பட்டகம் (Nicol prism) எனப்பட்டது. இப்பட்டகம் பெரும்பாலும் தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியை தோற்றுவித் தலுக்கும் பகுத்தலுக்கும் பயன் படுகின்றது

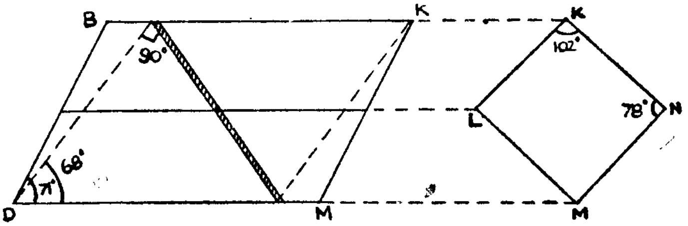
அமைப்பு

சாய்சதுர வடிவம் கொண்ட முனைப்பக்கங்களைக் கொண்ட கால்சைட் படிகத்தினைக் கொண்டு நைக்கல் பட்டகம் அமைக்கப் படுகின்றது. முனை பக்கங்களின் விளிம்புகள் சம நீளம்



படம் 22.14

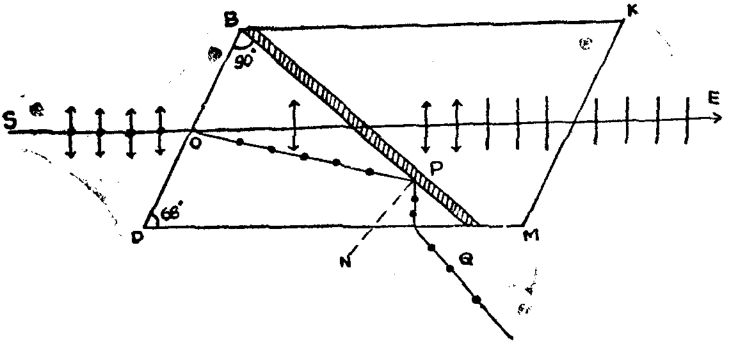
கொண்டவை. உதாரணமாக, படம் 22.14 (b)-ல் $LKNM$ ஒரு முனைப்பக்கத்தினைக் குறிக்கின்றன. இதில் $LK = KN = NM = ML$ ஆகும். மேலும், படம் 22. 14 (a)-யில், BK போன்ற பக்கங்கள் LK அல்லது KN போன்றப் பக்கங்களைப் போன்று மூன்று மடங்கு நீளம் கொண்டவைகளாக இருக்கும்.



படம் 22.15

படம் 22. 15-ல் உள்ளது போன்று நீளம் குறைந்தப் பக்கங்களைக் கொண்டு அமைந்தும் 71° கோணத்துடன் உள்ள முகப்புகளின் முதன்மைப் பகுதிகள், 68° கோணம் கொள்ளுமாறு வெட்டி எடுக்கப் படுகின்றன. ஒரு கன சாய்சதுரப் பட்டகம் கிடைக்கின்றது. இப்பட்டகத்தை அதன் மழுங்கு முனை (Blunt corner) களில் ஒன்றின் வழியாக அமையும் மூலைவிட்டம் ஒன்றின் மூலம் படம் 22.16-ல் உள்ளவாறு இரண்டு துண்டுகளாக வெட்டப் படுகின்றது. வெட்டுப் பரப்புகள் நன்கு தேய்க்கப்

பட்டு பளபளப்பாக்கப்படுகின்றன. பின்னர், கனடா பால்சம் (Canada balsm) என்னும் ஒளிபுகும் பொருள் கொண்டு இரண்டு பரப்புகளும் ஒட்டப்படுகின்றன. கால்சைட் படிகமானது சிறப்புக் கதிருக்கும் சாதாரண கதிருக்கும் கொள்ளும் விலகல் எண்களுக்கு இடைபட்ட விலகல் எண் கொண்டதாக கனடா பால்சம் உள்ளது.



படம் 22.16

அலைநீளம் λ = 5893 ஆ. அ கொண்டுள்ள சோடியம் ஒளிக்கு கனடா பால்சம் 1.55 விலகல் எண் கொண்டுள்ளது. ஆனால் படிகத்தில் சாதாரணக் கதிருக்கு விலகல் எண் 1.658 ஆகவும், சிறப்புக் கதிருக்கு 1.486-ம் உள்ளன. நைக்கல் பட்டகத்தில் ஒளிப்படும் பக்கம், வெளியிடப் படும் எதிர்பக்கம் இரண்டையும் தவிர மற்ற பக்கங்கள் கருமையாக்கப் பட்டுள்ளன. இதனால் மற்ற பக்கங்களில் வெளிவரும் ஒளியானது உட்கவரப்படுகின்றது.

செயல்படுமுறை

படம் 22.16-ல் நைக்கல் பட்டகத்தின் நீளமான பக்கங்களுக்கு இணையாக *SM* என்னும் இயற்கை ஒளி *BD*-யை ஒரு பக்கமாகக் கொண்டுள்ள முகப்பில் படுவதாகக் கொள்வோம். *O*-வில் இரட்டை விலக்கம் ஏற்பட்டு தளவிளைவுற்ற சாதாரணக் கதிர் *OP*-யாகவும், தளவிளைவுற்ற சிறப்புக் கதிர் *OE* ஆகவும் படிகத்தினுள் பரவுகின்றன. படிகத்தின் இயற்கையில் அமைந்திருந்த கோணம் மாற்றப் பட்டு இருப்பதால், கனடா பால்சம் பரப்பின் மீது படும்போது, சாதாரணக் கதிருக்கு படுகோணம் மாறுநிலை கோணத்தைவிட அதிகமாக உள்ளது. சாதாரணக் கதிரானது படிகத்திலிருந்து கனடா பால்சத்திற்கு செல்லும்போது

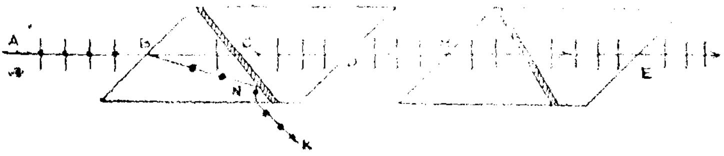
அடர்மிகு ஊடகத்தினின்று (μ = 1.658) அடர்குறை ஊடகத்திற்கு (μ = 1.55) செல்வதாக அமைவதால் முழு அக எதிரொளிப்பு (Total internal reflection) ஏற்படுகிறது. இதனால் PQ திசையில் திருப்பப்பட்டு, கருமைப் பூசப்பட்டுள்ள பக்கம் ஒன்றினால் உட்கவரப்படுகிறது. அதேசமயத்தில் சிறப்புக் கதிரானது அடர்குறை ஊடகத்தினின்று அடர்மிகு ஊடகத்திற்கு செல்வதாக அமைகின்றது. எனவே, முழு அக எதிரொளிப்பு அடையாமல் விலகலடைந்து அதிக ஒளி இழப்பு இல்லாமல் தளவிளைவுற்ற ஒளியாக வெளி வருகிறது. சிறிதளவு இடப்பெயர்ச்சி அடைந்திருந்தாலும் படும் கதிரின் திசைக்கு இணையாக வெளிவருகின்றது. எனவே, நைக்கல் பட்டகத்தைப் பயன்படுத்தி இரட்டை விலக்கத்தினால் ஏற்படும் இரண்டு கதிர்களில் சாதாரணக் கதிரை நீக்கி விட்டு சிறப்புக் கதிரை மட்டும் பெறுவதன் மூலம் இயற்கை ஒளியினின்று தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியை எளிதில் பெறமுடியும். இத்தள விளைவுற்ற ஒளியின் அதிர்வுகள் படம் 22.16-ல் உள்ளவாறு முதன்மைக் குறுக்கு வெட்டுத் தளத்தில் அமைந்துள்ளன. அதாவது படம் 22.1 -ல் உள்ளவாறு ஒளிபடும் முகப்பு, வெளிவரும் முகப்பு இரண்டையும் இணைக்கும் சிறிய மூலைவிட்டம் அமைந்துள்ள தளத்தில் அதிர்வுகள் அமையும்.

படும் இயற்கை ஒளியின் படுகோணமான ∠SOD-ஐ அதிகரித்தால், சிறப்புக் கதிர் ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையாக அதிக அளவு விலக்கம் கொள்ளும். படுகோணத்தை மேலும் மேலும் அதிகரித்துக் கொண்டே சென்றால், அதனுடைய விலகல் எண் ஆனது μ_0-வுக்கு நெருக்கமாக வரும். இவ்வாறு அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும்பொழுது சிறப்புக் கதிரும் முழு அக எதிரொளிப்பு அடையும். இதனால் தளவிளைவுற்ற ஒளியே நைக்கல் பட்டகத்தினின்று வெளிவராது. இதனால்தான் நைக்கல் பட்டகத்தை அதிக அளவு குவிந்த அல்லது விரிந்த இரண்டு கதிர்களைப் பெற பயன்படுத்த இயலாது

22.11. குறுக்குறு நைக்கல்கள்

ஓரச்சைக் கொள்ளுமாறு இரண்டு நைக்கல் பட்டகங்களைக் கொண்ட அமைவு பொதுவாக பயன்படுத்தப்படுகின்றது. இவ்வகை அமைவுகள் படிகங்களின் தன்மைகளை ஆய்வதற்கு பயன்படும் சிறப்புவகை நுண்ணோக்கிகளில் உள்ளன. படம் 22.17-ல் முதல் படிகம் சாதாரணக் கதிரை விலக்கி தளவிளைவுற்ற சிறப்புக் கதிரை மட்டும், அடுத்த பட்டகத்தின் மேல்

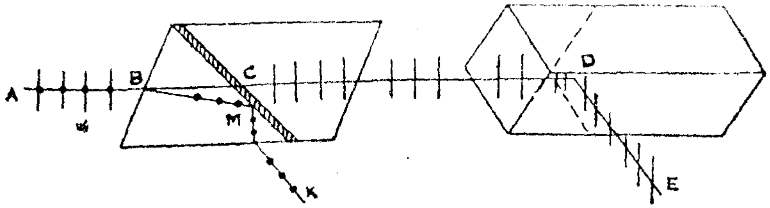
படும்படி செய்கின்றது. இப்பட்டகம் தளவிளைவிப்பான் (Polariser) எனப்படும். இரண்டாவது பட்டகம் வெளிவரும் ஒளியினது தள விளைவிற்றுள்ள தன்மையை ஆயப் பயன்



படம் 22.17

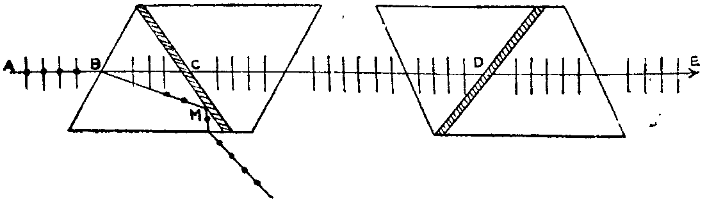
படுவதால் பகுப்பான் (Analyser) எனப்படும். இரண்டுப் பட்டகங்களும் அவற்றின் முதன்மைப் பரப்புகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளமையால், முதல் பட்டகத்தில் விடுபடும் சிறப்புக் கதிர் (E-ray) இரண்டாவதுப் பட்டகத்தின் வழியாகவும் தடையின்றி அனுப்பப்படுகின்றது.

பட்டகங்களில் ஏதாவது ஒன்றினை சுழற்றினால் கடத்தப்படும் ஒளியின் செறிவு மாறுகின்றது. மேலும் சுழற்றிக் கொண்டேயிருந்தால் ஒரு நிலையில் ஒளிச் செறிவு சுழியமாகின்றது. இப்பொழுது இரண்டு பட்டகங்களின் முதன்மைத் தளங்களும் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக அமைகின்றன. சிறப்புக் கதிராக முதல் பட்டகத்தினின்று வெளிவரும் தளவிளைவுற்ற கதிரானது இரண்டாவதுப் பட்டகத்திற்கு படுகோணம் அதிகரிப்பால் சாதாரண கதிராக அமைகின்றது இதனால் படம் 22.18-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு இரண்டாவதுப் பட்டகத்தில் முழு அக எதிரொளிப்பு அடைந்து கடத்தப்படும் ஒளியே இல்லாமல் போகும். இவ்வாறுள்ள இரண்டு நைக்கல் பட்டகங்களின் அமைவு குறுக்குறு நிலை (Crossed position) எனப்படும். இரண்டு நைக்கல்களின் முதன்மை தளங்களுக்கிடையே θ அளவு சாய்வு கோணம் இருந்தால் பகுதி ஒளி கடத்தப்படும். முதன்மைத்



படம் 22.18

தளங்கள் இணையாக இருக்கும்போது கடத்தப்படும் ஒளியின் செறிவு I_0 எனவும், θ கோணத்தில் சாய்வு கொண்டு அமைந்த நிலையில் கடத்தப்படும் ஒளியின் செறிவு I_θ எனவும் கொண்டால், மாலூஸ் கோசைன் விதிப்படி $I_\theta = I_0 \cos^2 \theta$ ஆகும்.



படம் 22.19

ஆனால் படம் 22.19-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு இரண்டாவது பட்டகத்தை 180° சுழற்றினால் சிறப்புக் கதிர் முன்போலவே கடத்தப்படும்.

வினாக்கள்

1. படிகமொன்றின் ஒளியியல் அச்சு, முதன்மைத்தளம் ஆகியவைகளை விளக்குக. இவற்றினைக் கொண்டு படிகமொன்றில் ஏற்படும் இரட்டை விலக்கத்தை விளக்குக.

2. எதிர் படிகங்கள், நேர்படிகங்கள் என்றால் என்ன? இரட்டை விலக்கத்திற்கு ஹாய்ஜன்ஸ் விளக்கத்தினைக் கொண்டு, ஓரச்சுப் படிகங்களில் அலைகள் பரவுதலை விளக்கவும்.

3. இரட்டை விலக்கத்திற்கு ஹாய்ஜன்ஸ் கொடுத்த விளக்கத்தினை கொடுக்கவும். ஒளியியல் அச்சு படுகை தளத்தில் அமைந்திருப்பதுடன் படிகப் பரப்புக்கு இணையாக இருக்கும் நிலையில் ஏற்படும் இரட்டை விலக்கத்தை விளக்கவும்.

4. நைக்கல் பட்டக அமைப்பினை விளக்குக. நைக்கல் பட்டகத்தினைக் கொண்டு தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியை பெறுதல் எப்படி என்று விவரிக்க. குறுக்குறு நைக்கல்கள் என்றால் என்ன?

5. இரண்டு நைக்கல்களைக் கொண்டு தளவிளைவுற்ற ஒளியை பகுத்தலைப் பற்றி எழுதுக.

23. தள விளைவுற்ற ஒளியினை தோற்றுவித்தலும் பகுத்தலும்

23.1. தளவிளைவுற்ற ஒளி வகைகள்

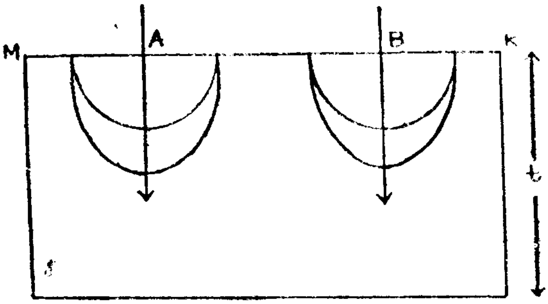
தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளி (Plane polarised light) நீள் வட்ட தளவிளைவுற்ற ஒளி (Elliptically polarised light) வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளி (Circularly polarised light) என மூன்று வகை தளவிளைவுற்ற ஒளிகள் உண்டு. இவற்றில் தளத்தில் தள விளைவுற்ற ஒளியினை எதிரொளிப்பு, விலகல் இவற்றின் மூலம் உண்டாக்குதல் குறித்து அத்தியாயம் 21-ல் பார்த்தோம். பின்னர் அத்தியாயம் 22-ல் இரட்டை விலக்கத்தினை அடிப்படையாகக் கொண்டு நைக்கல் பட்டகம் அமைத்து, அதன் மூலம் தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியினை உண்டாக்குதல் குறித்து பார்த்தோம். இந்த அத்தியாத்தில் தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியுடன், நீள் வட்டத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளி, வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளி இவற்றினை உண்டாக்குதல் பற்றியும் பகுத்தல் பற்றியும் காண்போம்.

23.2. கால் அலைத் தகடு

ஒரச்சு படிகமொன்றினை அதன் பரப்பு ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையாக இருக்கும்படி வெட்டியெடுத்து கால் அலைத் தகடு (Quarter wave plate) செய்யப்படுகின்றது. இந்த வடிவில் உள்ள பரப்பின் மீது ஒற்றை நிற ஒளி (Monochromatic light) குத்தாகப் படுவதாகக் கொள்வோம். ஒளி விலகலுக்குப் பின்னர் சாதாரணக் கதிர், சிறப்புக் கதிர் இரண்டும் ஒரே திசையில், ஆனால் வெவ்வேறு திசை வேகங்களுடன் பரவும்.

சாதாரணக் கதிரைவிட சிறப்புக் கதிரானது வேகமாகப் பரவுகின்றது. இதனால் அலைகளுக்கிடைப்பட்ட கட்ட வேறுபாடு அதிகரிக்கின்றது. படிகத்தின் தடிமம் (t) இரண்டு கதிர்

களுக்குமிடையே $\pi/2$ கட்ட வேறுபாடு உண்டாக்குவதாக இருந்தால், இது $\pi/4$ பாதை நீள வேறுபாட்டினை உண்டாக்குதலுக்கு சமமாகும். இப்படிப்பட்ட படிகத்தகடு குறிப்பிட்ட அலை நீளத்திற்கு கால் அலைத் தகடு (Quart_r wave plate) எனப் படும். இதனால் λ மாறும் பொழுது வெவ்வேறு கால் அலைத் தகடுகள் இருத்தல் அவசியமாகின்றது.



படம் 23.1

குறிப்பிட்ட அலைநீளம் λ கொண்ட ஒரே நீள அலைக்கான கால் அலைத் தகட்டின் தடிமத்தைக் கணக்கிட இயலும் தடிமத்தை 't' எனக்கொள்வோம். சாதாரணக் கதிருக்கும், சிறப்புக் கதிருக்கும் படிகம் கொடுக்கும் விலகல் எண்களை முறையே μ_o, μ_e எனக் கொள்வோம். இதனால் படிகத்தில் உள்ள பாதைகளுக்கு காற்றில் அமையும் சம பாதை நீளங்கள் முறையே $\mu_o t$, $\mu_e t$ ஆகும். மேலும், குறைந்த வேகத்தில் செல்லும் சாதாரணக் கதிரின் விலகல் எண் μ_o, μ_e-ஐ விட பெரியதாகும்.

எனவே, பாதை வேறுபாடு $= \mu_o t - \mu_e t$

$$= (\mu_o - \mu_e)\, t$$

ஆனால், உண்டாக வேண்டிய பாதை வேறுபாடு $\pi/4$ ஆகும்.

எனவே, $(\mu_o - \mu_e)t = \lambda/4$

இதிலிருந்து படிகத்தின் தடிமம்,

$$t = \frac{\lambda}{4(\mu_o - \mu_e)} \text{ ஆகும்.}$$

23.3 அரை அலைத்தகடு

கால் அலைத் தகடு உண்டாக்குதலைப் போன்றே அரை அலைத் தகட்டினை உண்டாக்கலாம். எல்லா அமைவு முறைகளும் ஒளி பரவும் முறைகளும் ஒன்றாகவே இருக்க, படிகத்தின் தடிமம் மட்டும் கட்ட வேறுபாடு π அல்லது சமபாதை நீள வேறுபாடு $\lambda/2$ ஏற்படுத்துமாறு இருக்க வேண்டும்.

t என்பது படிகத்தின் தடிமம் என்றால், காற்றில் சமபாதை நீளங்கள் முறையே $\mu_o t$, $\mu_e t$ ஆகும்.

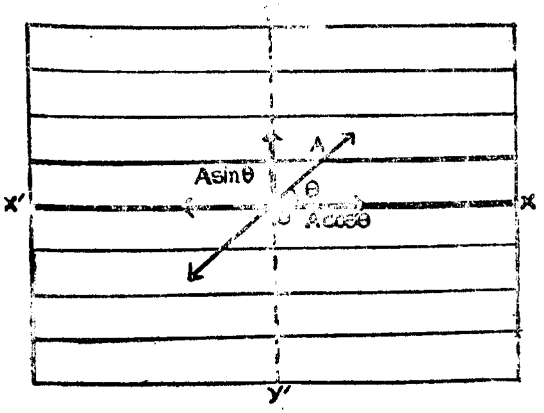
எனவே, $(\mu_o - \mu_e)t = \lambda/2$

அல்லது, $t = \dfrac{\lambda}{2(\mu_o - \mu_e)}$ ஆகும்.

எனவே, தடிமம் $\dfrac{\lambda}{2(\mu_o - \mu_e)}$ அளவு கொள்ளும் படிகத் தகடு அரை அலைத் தகடு (Half wave plate) எனப்படும்.

23.4 கால் அலைத் தகடும்—தளத்தில் தள விளைவுற்ற ஒளியும்

தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒற்றை நிற ஒளியானது அதன் தளவிளைவுத் தளம் (Plane of polarisation) கால் அலைத் தகட்டின் பரப்புக்குக் குத்தாக இருக்கும்படி இருந்தால் என்ன நிகழ்கிறது என்று பார்ப்போம். படம் 23.2-ல் நைக்கல் பட்டகம் ஒன்றிலிருந்து A அளவு வீச்சுடன் தள விளைவு ஒளியானது கால் அலைத் தகட்டின் மீது படுவதாகக் கொள்ளலாம்.



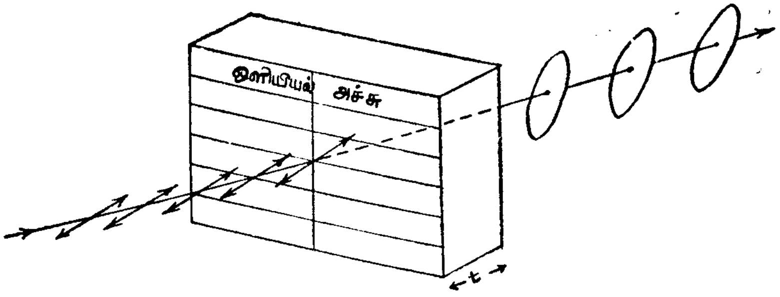
படம் 23.2

தள விளைவுத் தளம் படிகத்தின் முகப்புக்குக் குத்தாகவும், அதன் ஒளியியல் அச்சுடன் θ கோணம் ஏற்படுத்துவதாகவும் கொள்வோம். அலையின் வீச்சு $OM = A$. படும் அலையினை படிகத்தின் ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையாகவும், குத்தாகவும் பிரிக்க, இணைத் திசையில் அமையும் அலையின் வீச்சு $A \cos\theta$-வாகவும், குத்துத் திசையில் அமையும் அலையின் வீச்சு $A \sin\theta$-வாகவும் இருக்கும். இணைத் திசையில் அதிர்வுகளைக் கொள்ளும் அலை சிறப்பு அலையாகும். குத்துத் திசையில் அதிர்வினைக் கொள்ளும் அலை சாதாரண அலையாகும் இரண்டு அலைகளும் ஒரே திசையில் பரவினால், அவற்றின் அதிர்வுகள் ஒன்றுக்கொன்று குத்துத் திசைகளில் இருக்கும். பரவும் அலைகளின் திசையொன்றானாலும், எதிர் படிகமெனில் சிறப்புக் கதிரின் அலையானது, சாதாரணக் கதிரின் அலையைவிட அதிக வேகமாகப் பரவும். O-வில் இரண்டு அலைகளும் சமக் கட்டத்தில் பரவத் துவங்கினாலும், படிகத்தினுள் பரவும்பொழுது அவைகளுக்கிடையே கட்ட வேறுபாடு ஒன்று உண்டாக்கப்படுகின்றது. கால் அலைத் தகட்டினுள் பரவுவதினால் அவை தகட்டின் மறுபக்கத்தில் வெளிவரும்பொழுது $\pi/2$ அளவு கட்ட வேறுபாடு கொள்கின்றன. மீண்டும் இந்த இரண்டு அலைகளையும் சேர்க்கும்பொழுது ஏற்படும் தொகுபயன் அலையானது கட்ட வேறுபாட்டினையும், வீச்சுக்களையும் பொருத்தாகும். ஈதர் துகள்களின் அதிர்வுகளின் தொகுப்பானது நீள் வட்டமாகவோ வட்டமாகவோ இருக்கும். இவைகளுக்கேற்ப நீள் வட்ட தளவிளைவுற்ற ஒளியோ, வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியோ உண்டாக்கப்படும்.

23.5 நீள் வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளி உண்டாக்கல்

கால் அலைத் தகட்டொன்றின் மீது தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியானது படுவதாகக் கொள்வோம். படும் ஒளியின் தள விளைவுத் தளமானது தகட்டின் முகப்பினுக்குக் குத்தாகவும், ஒளியியல் அச்சினுக்கு θ கோணம் ஏற்படுத்துமாறும் படுவதாகக் கொள்வோம். படம் 23.3-ல் இந்த அமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது.

படும் ஒளியின் அலையானது ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணைத் திசை, குத்துத் திசை இரண்டிலும் அதிர்வுகளைக் கொள்ளுமாறும் பிரிக்கப்படும். இணைத் திசையில் அதிர்வுகளைக் கொள்ளும் அலை சிறப்பு அலையாகவும், குத்துத் திசையில் அதிர்வுகளைக் கொள்ளும் அலை சாதாரண அலையாகவும் இருக்கும். படும் தள விளைவுற்ற அலையின் பெரும வீச்சு A எனில், சிறப்பு அலையின் வீச்சு $A \cos\theta$ ஆகவும், சாதாரண அலையின் வீச்சு $A \sin\theta$ ஆகவும் இருக்கும்.



படம் 23.3

முன்பு விவரித்தது போலவே பிரிந்த இரண்டு அலைகளும் அதே திசையில் பரவிய போதிலும், வெவ்வேறு திசை வேகங்களைக் கொண்டுள்ளன. இதனால் வெளிவரும்போது $\pi/2$ கட்ட வேறுபாடு கொண்டுள்ளன. கால் அலைத் தகட்டினின்று அவை வெளியேறும்பொழுது x திசையிலும், y திசையிலுமாக உள்ள அலைகளுக்கான சமன்பாடுகளை,

$$x = A\cos\theta\sin\omega t \qquad \text{——— 1.}$$

$$y = A\sin\theta\sin(\omega t - \pi/2) \qquad \text{——— 2.}$$

என எழுதலாம்.

இதனால் தகட்டின் மறுபக்கம் அலைகள் பரவும்பொழுது, ஈதர் துகள்கள் இந்த இரண்டு வகை அதிர்வுகளுக்கும் உட்படுத்தப்படும். இதனால் அவற்றின் தொகுபயன் அதிர்வானது நீள் வட்டத்தில் அமைந்ததாக இருக்கும். இதனை கீழ் காணுமாறு விளக்கலாம்.

$A\cos\theta = a$ என்றும், $A\sin\theta = b$ என்றும் கொள்வோம்.

எனவே, $x = a\sin\omega t$ ——— 3.

$$y = b\sin(\omega t - \pi/2) \qquad \text{——— 4.}$$

y-க்கான மதிப்பை விரித்து எழுத,

$$y = b(\sin\omega t\cos\pi/2 - \cos\omega t\sin\pi/2)$$

$$= -b\cos\omega t \qquad \text{——— 5.}$$

என்னும் மதிப்பு கொள்ளும்.

மேலும், சமன்பாடு 3-லிருந்து,

$$\sin\omega t = \frac{x}{a}$$

எனவே, $$\left.\begin{aligned}\cos \omega t &= \sqrt{1-\sin^2 \omega t} \\ &= \sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}}\end{aligned}\right\} \quad \text{——— 6.}$$

சமன்பாடு 5-ல் இந்த மதிப்புகளை இட்டு, இருமடி கண்டால்,

$$y = -b\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}}$$

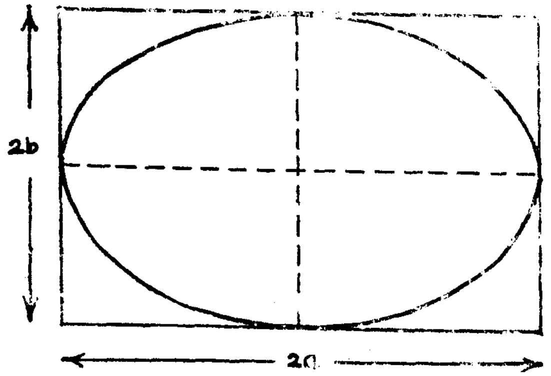
$$y^2 = b^2\left(1-\frac{x^2}{a^2}\right)$$

அல்லது, $$\frac{y^2}{b^2} = 1 - \frac{x^2}{a^2}$$

அல்லது, $$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$ ஆகும்.

இது ஒரு ஒழுங்கு அமைவு நீள் வட்டத்திற்கான சமன்பாடு ஆகும். இதன் பேரச்சு $2a$ அளவு நீளமும், சிற்றச்சு $2b$ அளவு நீளமும் கொண்டிருக்கும்.

எனவே, θ கோணத் தளவிளைவுத் தளமானது கால் அலைத் தகட்டின் ஒளியியல் அச்சுடன் $\theta = 30°$ ஏற்படுத்துமாறு படும் தளவிளைவுற்ற ஒளியானது தகட்டினை விட்டு வெளியேறும் பொழுது படம் 23.4-ல் உள்ளவாறு நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியாக வெளிவருமென்பது தெளிவு.

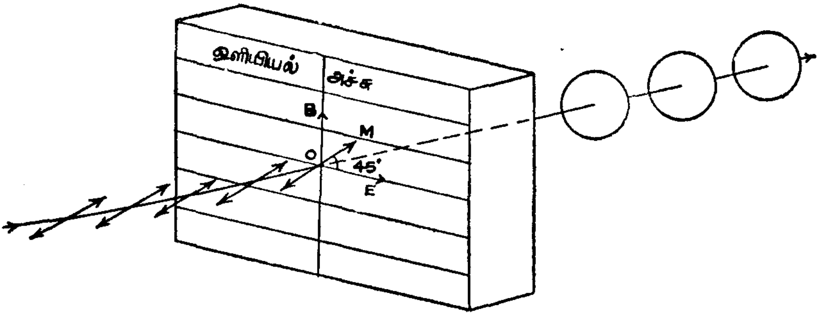


படம் 23.4

எனவே, நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியானது நீள்வட்ட அதிர்வுகளைக் கொண்டிருக்கும். இந்த அதிர்வுகள் மாறு அதிர்வு காலத்தைக் கொண்டு, ஒளி பரவும் திசைக்குக் குத்து திசையில் உள்ள தளமொன்றில் ஏற்படும். அதிர்வுகளின் வீச்சுகள் அளவிலும், பரவும் திசைகளிலும் மாறும்.

23.6 வட்டத் தள விளைவுற்ற ஒளி உண்டாக்கல்

கால் அலைத்தகடொன்றின் மீது முன்போலவே தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளி படுவதாகக் காண்போம். படும் தளவிளைவு ஒளியின் தளவிளைவுத் தளம் முகப்புக்குக் குத்தாகவும், ஒளியியல் அச்சுடன் $\theta = 45°$ இருக்குமாறும் விழுந்தால், வெளிவரும் அலைகள் வட்டத்தில் தளவிளைவுற்றவைகளாக இருத்தலைக் காணலாம். படம் 23.5 இதனை விளக்குகின்றது.



படம் 23.5

படும் ஒளியலை பிரிவதினால் உண்டாகும் இரண்டு அலைகளான சிறப்பு அலை, சாதாரண அலை இரண்டுமே சம வீச்சுக்களைக் கொண்டவைகளாக உள்ளன. x திசையில் $A \cos 45$-ம், y திசையில் $A \sin 45$-ம் வீச்சுகளாகும்.

சிறப்புக் கதிருக்கு,

$$A \cos 45 = \frac{A}{\sqrt{2}} = a$$

சாதாரணக் கதிருக்கு,

$$A \sin 45 = \frac{A}{\sqrt{2}} = a$$

என்னும் சமவீச்சுக்கள் இருக்கின்றன. எனவே, கால் அலைத் தகட்டினின்று இவை வெளிவருபவையாகையால், அவைகளுக்கிடையே ஏற்படும் கட்ட வேறுபாட்டினையும் கருத்திற் கொண்டு, அவற்றிற்கான சமன்பாடுகளை

$$x = a \sin \omega t$$

$$y = a \sin (\omega t - \pi/2)$$

என எழுதலாம்.

எனவே, $y = a (\sin\omega t \cos\pi/2 - \cos\omega t \ \sin\pi/2)$

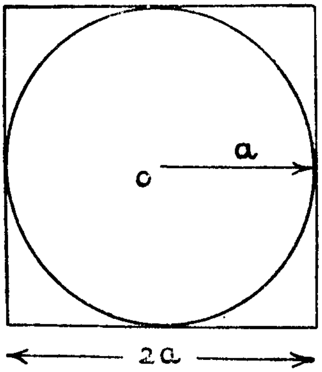
$= - a \cos \omega t$

$= -a \sqrt{1 - \sin^2 \omega t}$ ஆகும்.

மேலும், $y^2 = a^2 \left(1 - \frac{x^2}{a^2} \right)$

$= a^2 - x^2$

அல்லது, $x^2 + y^2 = a^2$ ஆகும்.



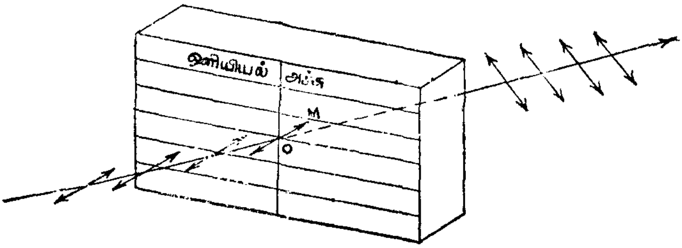
படம் 23.6

இச்சமன்பாடு a அளவு ஆரம் கொண்ட வட்டத்தினைக் குறிப்பதாகும். இதனால் வெளிவரும் ஒளியானது படம் 23.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு வட்டத்தில் தளவிளைவுற்றதாக இருக்கும்.

எனவே, வட்டத் தள விளைவுற்ற ஒளியானது வட்ட அதிர்வுகளைக் கொண்டிருக்கும். இந்த அதிர்வுகள் மாறா அதிர்வு காலத்தைக் கொண்டு, ஒளி பரவும் திசைக்குக் குத்துத் திசையில் உள்ளத் தளத்தில் ஏற்படும். இங்கு ஏற்படும் அதிர்வுகளின் வீச்சுகள் மாறாதவைகளாகவும், திசைகள் தொடர்ந்து மாறுபவைகளாகவும் உள்ளன.

23.7 தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியும் அரை அலைத்தகடும்

படம் 23.7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு தளத்தில் தளவிளைவுற்ற அரை அலைத்தகட்டொன்றின் மீது அதன் தளவிளைவுத் தளம் தகட்டின் முகப்பிற்குக் குத்தாக விழுவதாகக் கொள்வோம். ஆனால் ஒளியியல் அச்சுடன் தள விளைவுத்தளம் θ கோணத்தை உண்டாக்கட்டும். இவ்வாறான படுகைக்கு, தகட்டினுள் ஒளி சென்று வெளியேறும்பொழுது மீண்டும் தளத்தில் தளவிளைவுற்றதாகவே இருத்தலை அறியலாம்.



படம் 23.7

தகட்டினுள் இரண்டாகப் பிரிந்து, சிறப்பு அலைக்கான வீச்சு x திசையிலும், சாதாரண அலைக்கான வீச்சு y திசையிலும் இருக்கும். பெரும வீச்சு A எனில், சிறப்புக் கதிருக்கு வீச்சு $A\cos\theta = a$ ஆகவும், சாதாரணக் கதிருக்கு வீச்சு $A\sin\theta = b$ ஆகவும் இருக்கும்.

அரை அலைத் தகடு π அளவு கட்ட வேறுபாட்டை உண்டாக்குமாதலால், வெளிவரும் அலைகளின் சமன்பாடுகளை,

சிறப்புக் கதிருக்கு

$$x = a\sin\omega t$$

சாதாரணக் கதிருக்கு,

$$y = b(\sin\omega t - \pi)$$ என எழுதலாம்,

y-ன் மதிப்பினை விரித்து எழுத,

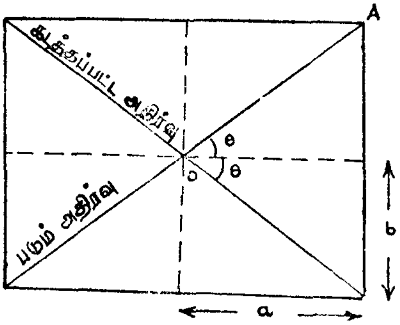
$$y = b(\sin \omega t \cos \pi - \cos \omega t \sin \pi)$$

$$= -b \sin \omega t$$

ஆனால், $\sin \omega t = \dfrac{x}{a}$

$$\therefore \quad y = -b\frac{x}{a}$$

$$= -\frac{b}{a}x$$



படம 23.8

இந்தச் சமன்பாடு ஒரு நேர்கோட்டினைக் குறிக்கின்றது. இதன் சாய்வு மதிப்பு b/a ஆகும். எனவே, படம் 23.8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு, தளத்தில் தளவிளைவுற்றதாகவே வெளி வருகின்றது. ஆனால், கடத்தப்படும் தளவிளைவுற்ற ஒளியின் தள விளைவுத் தளம் படுஅலையின் தள விளைவுத் தளத்திற்கு $2 \tan^{-1}(b/a)$ அளவு கோணத்துடன் அமைகிறது.

23.8 நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியை வட்டத் தள விளைவுற்ற ஒளியாக மாற்றுதல்

நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியானது கட்ட வேறுபாடு $\pi/2$ கொண்ட, ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ள தளத்தில் தளவிளைவுற்ற இரண்டு ஒளி அலைகளாகும். மற்றுமொரு கால் அலைத் தகட்டினை இந்த நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியினது

பாதையில், நீள்வட்டத்தின் பேரச்சு அல்லது சிற்றச்சு, தகட்டினது ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையாக இருக்கும்படி வைத்தால், மீண்டுமொரு π/2 அளவு கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு உண்டாகும். இதனால் மொத்தக் கட்ட வேறுபாடு 0 அல்லது π உண்டாகும். இதனால் தகட்டினின்று வெளியேறும் ஒளியானது தளத்தில் தளவிளைவுற்றதாக அமையும்.

இவ்வாறு நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்றதாக மாற்றப்படுகின்றது. இந்தத் தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளி மற்றுமொரு கால் அலைத்தகட்டின் மீது பகுதி 23.6-ல் கண்டவாறு, அதன் தளவிளைவுத் தளம் ஒளியியல் அச்சுடன் 45^{0} கோணம் கொள்ளுமாறு, முகப்பின் மீது குத்தாக விழுந்து வெளியேறும் பொழுது, வட்டத் தளவிளைவுற்றதாகக் கிடைக்கும்.

23.9 தளவிளைவுற்ற ஒளியை பகுத்தறிதல்

சிறு துளையொன்றின் மூலம் வெளி வரும் ஒளியானது தளத்தில் தளவிளைவு அடைந்ததா, அல்லது நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்றதா, அல்லது வட்டத் தளவிளைவுற்றதா, என்பதனை கீழ் காணும் முறைப்படி அறியலாம். இதற்கு நைக்கல் பட்டகமொன்றினை துளையின் பின்னால் வைத்து, ஒளிக் கதிரின் திசையை அச்சாகக் கொண்டு சுழற்றவும்.

கீழ்காணும் மூன்று நிகழ்வுகள் கிடைக்கலாம்.

(i) நைக்கலை சுழற்றும்போது ஒளியின் செறிவானது பெருமத்திற்கும், சுழியத்திற்கும் இடையே மாறி கொண்டிருக்கலாம். இவ்வாறு இருப்பின் படும் ஒளியானது தளத்தில் தள விளைவுற்றதாகும்.

(ii) நைக்கலை சுழற்றும் போது வெளிவரும் ஒளியினது செறிவானது பெருமமொன்றிற்கும், சிறுமமொன்றிற்கும் இடையே மாறலாம்; ஆனால் சுழியமாகாது. இவ்வாறு இருப்பின் துளையின் வழியாக வரும் ஒளியானது நீள்வட்டத் தளவிளைவுற்றது; அல்லது பகுதி தளவிளைவுற்றது (Partially polarised).

நைக்கல் பட்டகத்தில் முதன்மைத் தளமானது நீள்வட்டத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியினது பேரச்சினுக்கு இணையாக இருந்தால் பெரும ஒளியும், சிற்றச்சினுக்கு இணையாக இருந்தால் சிறும ஒளியும் பட்டகத்தின் வழியாக வெளியே வரும்

பகுதி தளவிளைவுற்ற ஒளியெனில் நைக்கல் பட்டகத்தின் முதன்மைத் தளம், தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியினது அதிர்வு தளத்திற்கு இணையாக இருக்கும் பொழுது பெரும ஒளியும், குத்தாக இருக்கும்போது சிறும ஒளியும் வெளிவரும்.

நீள் வட்டத்தில் தளவிளைவுற்றதா, அல்லது பகுதி தளவிளைவுற்றதா என்பதனை அறிய ஒரு கால் அலைத் தகட்டினை ஒளி வரும் துளைக்கும் நைக்கல் பட்டகத்திற்குமிடையே வைக்கவும். நீள் வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியெனில், கால் அலைத் தகட்டின் மூலம் வெளிவரும்போது தளத்தில் தளவிளைவுற்றதாக இருக்கும். இதனால் நைக்கலை சுழற்றும் போது இரண்டு நிலைகளில் ஒளிச்செறிவு சுழியமாகி ஒளி வெளிவராது.

மாறாக, பகுதி தள விளைவுற்றதாக இருந்தால், கலப்பு ஒளியிலுள்ள தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியானது நீள் வட்ட தளவிளைவுற்றதாக மாறிவிடும். இதனால் நைக்கலை சுழற்றும்போது மீண்டும் முன்போலவே வெளி வரும் ஒளியின் செறிவானது பெருமத்திற்கும் சிறுமத்திற்குமாக மாறி மாறித் தோன்றும். ஒளிச் செறிவு அற்ற நிலை இராது.

(iii) மூன்றாவதாக, நைக்கல் பட்டகத்தினை சுழற்றும்போது வெளி வரும் ஒளியின் செறிவில் எந்த விதமான மாற்றமும் இருக்காது. இவ்வாறு இருந்தால் படும் ஒளியானது தள விளைவுறா இயற்கை ஒளி அல்லது வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியாக இருக்கும்.

இந்நிலையில் தள விளைவுறா ஒளியா அல்லது வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியா என்பதை அறிய கால் அலைத் தகடு ஒன்றினை ஒளி வரும் துளைக்கும், நைக்கல் பட்டகத்திற்கும் இடையே வைக்கவும். படும் ஒளி வட்டத் தள விளைவுற்றதெனில் நைக்கலை அடையும்போது தளத்தில் தள விளைவுற்றதாக இருக்கும். இதனால் நைக்கலைச் சுழற்றும்போது இரண்டு நிலைகளில் ஒளிச் செறிவு சுழியமாகும்.

மாறாக தளவிளைவுறாத ஒளியெனில் தளத்தில் தள விளைவுற்றதாக கால் அலைத் தகட்டிலிருந்து வெளிவராது. மீண்டும் இயற்கை ஒளியாகவே நைககலை அடையும். இவ்வாறு தளவிளைவுற்ற ஒளியினைப் பகுத்தறியலாம்.

மேற்கண்ட முடிவுகள் அனைத்தையும் கீழ் காணுமாறு தொகுக்கலாம்.

பகுப்பதற்கான ஒளி
↓
நைக்கல் பட்டகம்

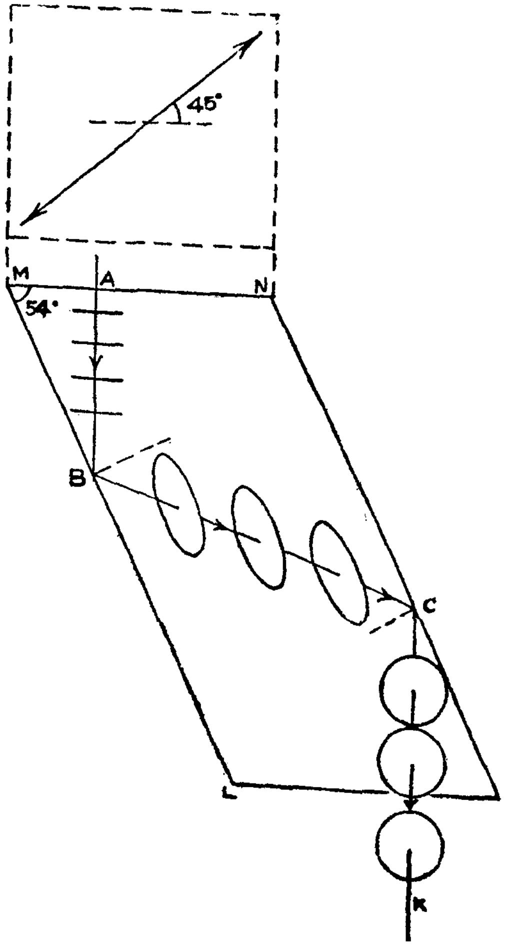
- ↓ செறிவு மாற்றம் இல்லை
  - ↓ முடிவு
  - தள விளைவுறு ஒளி அல்லது வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளி
  - கால் அலைத் தகடு வைக்கப்படுதல்
    - ↓ ஒளிச் செறிவில் மாற்றம் இல்லை → முடிவு → தள விளைவுறு ஒளி
    - ↓ ஒளிச்செறிவில் மாற்றம் உண்டு (சிறுமம், சுழியம்) → முடிவு → வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளி
- ↓ செறிவு மாற்றம் உண்டு
  - ↓ முடிவு
  - பகுதி தள விளைவுற்ற ஒளி அல்லது நீள் வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளி
  - கால் அலைத் தகடு வைக்கப்படுதல்
    - ↓ சிறுமம் சுழிமம்
    - ↓ சிறுமம் சுழியம் இல்லை → முடிவு → பகுதி தளத்தில் தள விளைவு

23.10 ஃபிரன்னல் சாய்சதுரம்

தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளிக் கற்றையொன்று சரியான கோணத்தில் அமைக்கப் பட்டுள்ள கண்ணாடித் தகட்டினுள் முழுவதுமாக எதிரொளிக்கப் படும்பொழுது நீள் வட்ட தள விளைவுற்ற ஒளியாக மாறுகின்றது என்று ஃபிரன்னல் கண்டார். படும் ஒளியானது படுதளத்திற்கு 45° கோணத்தில் அதிர்வுகளைக் கொண்டிருக்க வேண்டும். படம் 23.9-ல் தாளின் தளத்திற்கு 45° கோணத்தில் அதிர்வுகள் இருப்பதும், ஃபிரன்னல் சாய் சதுரத்தின் குறுக்குப் பகுதியும் காட்டப்பட்டுள்ளது. கிரவுன் கண்ணாடியால் செய்யப்பட்டதாக உள்ளது.

சாய் சதுரத்தின் *MN* என்ற முகப்பின் மீது குத்தாக தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளி படுகின்றது. அதன் அதிர்வுகள் 45° கோணத்தில் உள்ளன. இதனால் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக அமையும் சம செறிவுக் கொள்ளும் இரண்டு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றது. படும் ஒளியானது சாய் சதுரத்தின் கர்ணப் பக்கமாக அமையும் *ML* பரப்பின் மீது 54° கோணத்தில் படு

கின்றது. எனவே, முழு அக எதிரொளிப்பு அடைகின்றது. B-யில் ஏற்படும் எதிரொளிப்பால் கூடுதல் கட்ட வேறுபாடு $\pi/4$ உண்டாகின்றது. எனவே, நீள் வட்டத்தில் தள விளைவுற்றதாக மாறுகின்றது. C-யில் ஏற்படும் இரண்டாவது எதிரொளிப்பால்



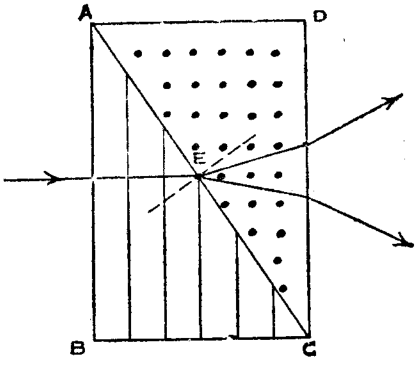
படம் 23.9

மேலும் $\pi/4$ கட்ட வேறுபாடு கூடுகின்றது. எனவே, ஏற்படும் மொத்த கட்ட வேறுபாடு $\pi/2$ ஆகும். இந்தக் கட்ட வேறுபாடு இரண்டாகப் பிரிந்த இரு பகுதிகளிடையே அமைவதாக உள்ளது. எனவே, சாய் சதுரத்தை விட்டு வெளியேறும் ஒளி

யானது வட்டத் தள விளைவுற்றதாக உள்ளது. இதன்படி ஃபிரன்னல் சாய்சதுரமானது கால் அலைத் தகட்டைப் போன்று செயல்படுவது தெளிவு. கால் அலைத்தகடு குறிப்பிட்ட அலை நீளத்திற்கு மட்டுமே பொருந்துவதாக உள்ளது. ஆனால் சாய் சதுரமானது எல்லா அலை நீளங்களுக்கும் பொருந்துவது ஆகும்.

23.11 உல்லாஸ்டன் இரட்டைப் படிவ பட்டகம்

நைக்கல் பட்டகமானது படும் ஒளியை சாதாரணக் கதிர், சிறப்புக் கதிர் என இரண்டு வகை தளவிளைவு ஒளிகளாக பிரித்த போதிலும், அவற்றில் ஒன்றை முழு அக எதிரொளிப்பு மூலம் நீக்கி மற்றதை மட்டுமே கடத்துவதைப் பார்த்தோம். ஆனால் இரண்டு வகை தளவிளைவுற்ற ஒளிகளும் வேண்டுமிடத்தில் இரட்டைப் படிவ பட்டகங்களைப் பயபடுத்தலாம். இந்த வகைப் பட்டகங்கள் இரண்டு வகைத் தளவிளைவுற்ற ஒளிகளையும் பிரிப்பதுடன் அவற்றின் நிறப் பிரிகைகளை சமனுக்குகின்றன. படம் 23.10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு உல்லாஸ்டன் பட்டகம் இவ் வகைப் பட்டகங்களில் சிறந்தொன்றாகும்.



படம் 23.10

இரட்டை விலக்கத்தை ஏற்படுத்தும் குவார்ட்ஸ் போன்ற படிகங்களினால் இவை செய்யப்படும். இதில் சம கோணங்களைக் கொள்ளும் இரண்டு செங்கோண முக்கோணப் பட்டகங்கள் உள்ளன. இரண்டு கதிர்களுக்குமிடையே மிக அதிகமான பிரிகைத் தேவையானால் கால்சைட் பட்டகங்கள் பயன்படுத்தப் படுத்தப்படும். இரண்டு பட்டகங்களும் அவற்றின் கர்ணப் பக்கங்கள் ஒன்றுடன் ஒன்று பொருந்தும் நிலையில் இணைக்கப் டுள்ளன. பட்டகம் ABC-யில் அதன் ஒளியியல் அச்சு, பக்கம்

AB-க்கு இணையாக இருக்குமாறு வெட்டி எடுக்கப்பட்டுள்ளது. தாளின் தளத்திற்கும் இணையாக உள்ளது. மற்ற பட்டகம் ACD-யில் ஒளியியல் அச்சு CD பரப்புக்கு இணையாகவும், தாளின் தளத்திற்கு குத்தாகவும், இருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டுள்ளது. AB என்னும் பக்கத்திற்குக் குத்தாக இயற்கை ஒளி படும்பொழுது சாதாரணக் கதிர், சிறப்புக் கதிர் என இரண்டுப் பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு ஒரே திசையில் பரவுகின்றன. ஆனால், வெவ்வேறு திசை வேகங்களுடன் பரவுகின்றன. இரண்டு பட்டகங்களுக்கும் ஒளியியல் அச்சுக்கள் குத்தாக இருப்பதினால், முதல் பட்டகத்திற்கு சாதாரணக் கதிர், சிறப்புக்கதிராக உள்ளவை, இரண்டாவது பட்டகத்திற்கு முறையே சிறப்புக் கதிராகவும், சாதாரணக் கதிராகவும் மாற்றப்படுகின்றன. குவார்ட்ஸ் படிகமெனில், சாதாரணக் கதிரானது (μ_o = 1.544) விலகல் எண் கொண்ட ஊடகத்தினின்று 1.553 விலகல் எண் கொள்ளும் ஊடகத்தினுள் பரவுகின்றது. எனவே, பிரிதளத்தில் குத்துக் கோட்டை நோக்கி விலகல் அடைகின்றது. முதல் படிகத்தில் சிறப்புக் கதிருக்கு விலகல் எண் μ_e = 1.553. எனவே, சிறப்புக் கதிரானது விலகல் எண் 1.553 கொண்ட ஊடகத்திலிருந்து சாதாரணக் கதிராக 1.544 விலகல் எண் கொண்ட ஊடகத்தில் பரவும்பொழுது, குத்துக்கோட்டை விட்டு விலகுகின்றது. இதனால், இரண்டு கதிர்களுக்குமிடையே அதிகமான இடைவெளி உண்டாகின்றது. மீண்டும் பட்டகம் ACD-யின் AD பக்கத்தில் விலகல் அடையும்பொழுது, மேலும் அதிகமாகப் பிரிகின்றது. இந்த அமைப்பினால் நிறப்பிரிகை முற்றிலும் சமனாக்கப் படுகின்றது.

உல்லாஸ்டன் பட்டகமொன்றுடன் சுழலும் நைக்கல் பட்டகமொன்றை பகுப்பானாகக் கொண்ட அமைப்பு கார்னோ போலாரிஸ்கோப் எனப்படும். குறைந்த அளவில் ஏற்படும் தளவிளைவுகளையும் தெளிவாகக் காணுதலுக்கு இவ்வமைப்பு பயன்படுகின்றது.

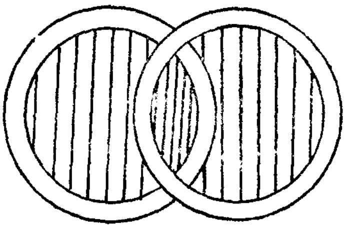
23.12 போலராய்டுகள்

சில படிகங்களுக்கு நிறம் காட்டும் பண்பு (Dichroism) உண்டு. இவை படும் ஒளிக்கு இரண்டு விலகு கதிர்களைக் கொடுக்கின்றன. ஆனால் சாதாரணக் கதிர், சிறப்புக் கதிர் இரண்டையும் வெவ்வேறு அளவுகளில் உட்கவர்கின்றன. டூர்மலீன் படிகமானது சாதாரணக் கதிரை முழுவதும் உட்கவர்ந்து, சிறப்புக் கதிரினில் பகுதியை உட்கவர்ந்து

பகுதியை வெளிவிடுகின்றது. எனவே, வெளிவிடும் ஒளியில் சிறப்புக் கதிரின் பகுதி மட்டும் இருக்கும்.

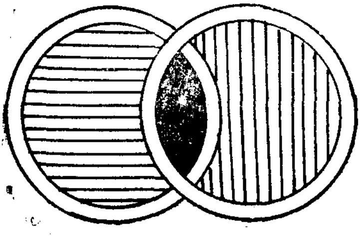
ஹீராபாத் என்பார் 1852-ம் ஆண்டு, ஹீராபாத்தைட் (Herapathite) என்னும் இரு நிறம் காட்டும் தொகுப்புப் படிகமொன்றைக் கண்டார். இது அயோடோகுனைனின் ஒரு சல்பேட் ஆகும். இது தளவிளைவுற்ற ஒளியில் அமையும் இரு வகைகளில் ஒன்றை மட்டும் எவ்வித நிறமும் இல்லாமல் கொடுக்கின்றது; மற்றதை முழுமையாக உட்கவர்கின்றது. ஆனால், மிகவும் நுண்ணிய சிறு சிறு படிகங்களாக உள்ளமையால் அப்படியே தளவிளைப்பானாக பயன் படுத்த இயலாது.

கிட்டத்தட்ட 80 ஆண்டுகள் கழித்து எட்வின் லேண்ட் (Edwin land) என்பார் மேட்ரிக்ஸ் (Matrix) வடிவில் இப் படிகங்களை அமைத்தார். இதற்கு இப்படிகங்கள் பாகுநிலை ஊடகமொன்றில் தொங்கும் நிலையில் வைக்கப்பட்டு, சீரான இயக்கத்திற்கு உள்ளாக்கப் படுகின்றன. இதனால், எல்லாப் படிகங்களும் பாகுநிலை திரவ ஓட்டத்திசையில் அமைந்து படிக ஊசிகளாக மென்தகடொன்றின் மீது படிகின்றன. எளிதில் ஆவியாகும் பொருளொன்றினைக் கொண்டு, இந்த அமைப்பு திட நிலையாக்கப் படுகின்றது. இவ்வாறு தளவிளைவை உண்டாக்கும் பெரிய அளவு தகடுகள் உண்டாக்கப்பட்டன. இந்த வகைத் தகடுகள் போலராய்டுகள் என அழைக்கப்படுகின்றன.



படம் 23.11

இந்த வகைத் தகடுகள் ஒளியலைகளில், இவற்றின் திசைக்கு இணையாக உள்ள அதிர்வுகளை மட்டும் கடத்தி மற்ற திசைகளில் உள்ள அதிர்வுகளை உட்கவர்கின்றன. இதனால் வெளியிடப்படும் ஒளியானது தளத்தில் தளவிளைவுற்றதாக உள்ளது. இம்மாதிரி உள்ள இரண்டுத் தகடுகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக படம் 23.11-ல் உள்ளவாறு அமைக்கப்பட்டால் இணைத் திசையில் அமையும் அதிர்வுகளுக்கான ஒளி கடத்தப்படும்; கடத்தப்படும் ஒளி தளவிளைவுற்றதாக இருக்கும்.



படம் 23.12

மாறாக படம் 23.12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு ஒன்றின் திசைக்கு மற்றதின் திசை குத்தாக இருக்குமாறு அமைக்கப் பட்டால் ஒளி முழுமையாக கடத்தப்படாது.

போலராய்டுகளின் பயன்கள்

(1) சூரிய ஒளியை கட்டுப்படுத்தும் கண்ணாடிகளாகப் பயன் படுத்தலாம். சில வகை விரும்பத் தகாத எதிரொளிப்பு, மங்கல் ஒளி ஆகியவைகளில் வேண்டிய பகுதியை கடத்துமாறும், வேண்டாப் பகுதிகளை நீக்குமாறும் பயன் படுத்தலாம்.

(2) கார்களின் முகப்பு விளக்குகளிலும், முன்புற கண்ணாடி களிலும் போலராய்டுகள் அமைக்கப்படுகின்றன. கடத்தப்படும் நிலை, குத்து நிலைக்கு 45° கோணத்தில் அமைக்கப்படுகின்றது.

(3) உள்ளே வரும் ஒளியை கட்டுப் படுத்துவதற்கு ஆகாய விமானகளிலும், இரயில்களிலும் சுழலும் போலராய்டுகள் அமைக்கப்படுகின்றன.

(4) மூன்று பரிமாணங்களில் தோன்றும் படங்களைப் பார்ப்பதற்கு தக்கவாறு உள்ள பார்வைக் கண்ணாடிகள் போலராய்டுகள் கொண்டு தயாரிக்கப்படுகின்றன.

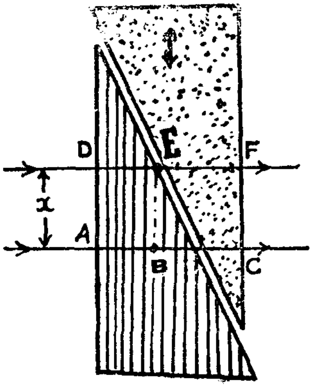
(5) நைக்கல் பட்டகங்களுக்குப் பதிலாக போலராய்டுகள் பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

(6) படவியல் துறையிலும், எண்ணெய் வண்ணப்பூச்சுக் கள் தயாரிப்பிலும் நிற வேற்றுமைகளைத் தோற்றுவித்தலுக்கு போலராய்டுகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

23.13 பேபினட் ஈடு செய்வி

கால் அலைத்தகடுகளை தயாரிக்கும் பொழுது குறிப்பிட்ட அலை நீளத்திற்குத்தான் தயாரிக்க இயலும். வெள்ளொளியை

ஆராயும் பொழுது பல நீளங்கள் இருப்பதனால் கால் அலைத் தகடு பயன் தராது. ஒளியலை நீளங்கள் அளவு கொள்ளும் தடிமங்கள் கொண்ட தகடுகளை அமைப்பது கடினம். கால் அலைத் தகடுகளை பயன்படுத்துவதில் உண்டாகும் சிரமங்கள் நீங்கும் வகையில் அமைக்கப்பட்டது பேபினட் ஈடு செய்வி (Babinet compensator). வேண்டுமான அளவு பாதை வேறுபாடு, கட்ட வேறுபாடு ஆகியவைகளைத் தோற்றுவிக்க இதனால் இயலும்.



படம் 23.13

இதன் அமைவு படம் 23.13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இது இரண்டு ஆப்பு வடிவில் உள்ள குவார்ட்ஸ் படிகங்களைக் கொண்டுள்ளது. ஒன்றில் ஒளியியல் அச்சு விலகலை ஏற்படுத்தும் பரப்புக்கு இணையாகவும், மற்றதில் குத்தாகவும் இருக்குமாறு அமைக்கப் பட்டுள்ளன. முதல் படிகத்தில் விலகல் பரப்புக்கு இணையாக உள்ளது. மற்றதில் குத்தாக உள்ளது. இரண்டு படிகங்களில் முதலாவதை நிலையாக வைத்து, இரண்டாவதை ஒன்றையொன்று ஒட்டிய நிலையிலேயே நகர்த்த இயலுமாறு அமைவு உள்ளது.

தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளி ஈடு செய்வியின் முகப்புக்கு 'θ' கோணத்தில் அதிர்வுகளை கொள்ளுமாறு விழுவதாகக் கொள்வோம். இது இரண்டுப் பகுதிகளாகப் பிரிந்து படிகத்தினுள் பரவும். E கதிர் ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையாகப் பரவும். O கதிர் அதிக வேகத்துடன் பரவும். முதல் ஆப்பு படிகத்திலிருந்து இரண்டாவது படிகத்தினுள் செல்லும் நிலையில் O கதிரானது E கதிராகவும், E கதிரானது O கதிராகவும் மாறு

கின்றன. இதனுல் திசை வேகங்களும் மாறுகின்றன. இதனுல் ஒன்றின் விளைவு மற்றதினுல் ஈடுசெய்யப் படுகின்றது. படத்தில் E என்னும் சமபாதைகள் அமையும் மையப்புள்ளியில் முழுமையாக ஈடு செய்யப் படுகின்றது. எனவே, அப்புள்ளி சுழியத் தடிமப் புள்ளி எனப்படுகிறது. இப்புள்ளிக்கு இரண்டுப் பக்கங்களிலும் கருதினுல், ஒரு பக்கம் ஒரு வகை அதிர்வை வி - மற்றது அதிக வேகமும், மறு பக்கத்தில் ஒரு வகை அதிர்வை விட குறைந்த வேகமும் கொண்டிருக்கும். இதனுல் இரண்டு வகை அதிர்வுகளுக்கும் வெவ்வேறு தடிமங்கள் கொள்ளுமாறு அமைகின்றது. மையப்புள்ளி E-யிலிருந்து தூரத்தை அதிகரித்தால் பாதை வேறுபாடு சீராக மாறுபடுகின்றது குறிப்பிட்ட நிலைக்கு நேராக ஒரு குறுகிய பிளவை அமைத்தால் தேவையான பாதை வேறுபாடுகளைப் பெறமுடியும்.

படத்தில் A என்னும் புள்ளியில் படும் ஒளியைக் கருதினுல் முதல் ஆப்பு படிகத்தில் கட்ட வேறுபாடு

$$= \frac{2\pi}{\lambda}\,(\mu_e - \mu_o)\,AB$$

λ என்பது சராசரி அலை நீளமாகும்.

இரண்டாவது படிகத்தில் கட்ட வேறுபாடு

$$= \frac{2\pi}{\lambda}\,(\mu_e - \mu_o)\,BC$$

இரண்டாவது படிகத்தினுள் நுழைந்ததும் திசை வேகங்கள் மாறுவதினுல் ஏற்படும் மொத்த கட்ட வேறுபாடு

$$= \frac{2\pi}{\lambda}\,(\mu_e - \mu_o)\,(AB - BC)$$

சுழிய தடிம நிலைக்கு இரண்டு பக்கங்களிலும் x நிலையில் ஏற்படும் பாதை குறைப்பு $\lambda/2$ எனில், $2x$ நிலையில் λ ஆக இருக்கும். இந்த நிலைகளின் வழியாக வெளியேறும் ஒளிகள் தளத்தில் தளவிளைவுற்றவைகளாக இருக்கும்.

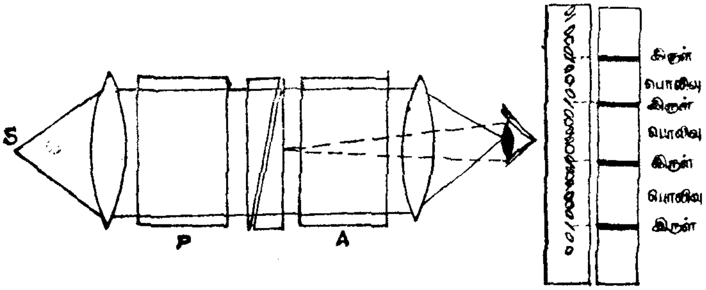
பொதுவாக தளத்தில் தளவிளைவு ஏற்படும் புள்ளிகள்

$$(\mu_e - \mu_o)\,(AB - BC) = \frac{n\lambda}{2} \text{ ஆக இருக்கும்.}$$

இரண்டாவது படிகம் மாறு நிலையில் உள்ளமையால் BC-யின் அளவை மாற்றலாம். இதனால் பாதை வேறுபாட்டை தேவையான அளவுக்குக் கொள்ளலாம்.

23. 14 பாபினெட் ஈடுசெய்வி மூலம் தளவிளைவுற்ற ஒளியை ஆய்தல்

படும் ஒளியானது ஒற்றை நிற ஒளியாகவும் தளத்தில் தளவிளைவுற்றதாகவும் இருக்கின்றதென்றும், படும் தளத்திற்கு இணையாகவோ, குத்தாகவோ அதிர்வுகளை கொண்டது அல்ல என்றும் கொள்வோம். இந்நிலையில் ஈடு செய்வியிலிருந்து வெளியேறும் ஒளி, தளத்தில் தளவிளைவுற்றது அல்லது நீள் வட்டத் தளவிளைவுற்றதாக இருக்கும். சில நேரங்களில் வட்டத் தளவிளைவுற்றதாகவும் இருக்கும். படம் 23.14-ல் இந்த நிலைகள் காட்டப்பட்டுள்ளன.



படம் 23.14

படத்தில் P என்னும் நைக்கல் தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியை உண்டாக்கி, ஈடு செய்வியின் மீது படும்படி செய்கின்றது. வெளியேறும் ஒளியை A என்னும் நைக்கல் மூலம் பகுத்துணரப் படுகின்றது. ஈடுசெய்வியின் மையநிலை வழியாக வெளியேறும் ஒளியை மறைக்குமாறு A அமைக்கப்பட்டால், $0, \lambda, 2\lambda$ என்னும் பாதை வேறுபாடுகளினால், ஒரு தொகுப்பு கருமை வரிகள், சம இடைவெளிகளில் அமைந்து கிடைக்கும். படும் ஒளி வெள்ளொளி எனில், மைய வரி மட்டும் கருமையாக அமைந்து, மற்ற எல்லா வரிகளும் நிறங்கொண்டு தோன்றும். பகுப்பான் A, 45^0 கோணம் சுழற்றப்பட்டால் இந்த வரிகள் மறைந்து பார்வைப்புலம் சீரான ஒளியூட்டம் கொண்டதாக இருக்கும் இந்த நிலையில் எல்லா அதிர்வுகளும் வட்ட அதிர்வுகளாக மாற்றப்படும். எனவே வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளி கிடைக்கின்றது.

படும் ஒளி நீள்வட்ட தளவிளைவுற்றதாக இருந்தால், நீள் வட்டத்தின் பெரும, சிறும அச்சுக்களின் விகிதத்தில் வரிகள்

இடப்பெயர்ச்சி அடைவதுடன், வரிகளின் கருமையும் மாறும். ஆனால் பகுப்பானை சுழற்றி, கருமை வரிகளை பார்வை புலத்தில் இல்லாமல் செய்ய இயலும்.

வினாக்கள்

1. கால் அலைத் தகடு, அரை அலைத் தகடு இவைகளை விளக்கவும். கால் அலைத் தகடு கொண்டு தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியினைப் பெற இயலுதலை விளக்கவும்.

2. நீள் வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளி, வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியினை எப்படி உண்டாக்கலாம்? நீள் வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியை எவ்வாறு வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளியாக மாற்றலாம்?

3. தளவிளைவுற்ற ஒளியை பகுத்தல் குறித்து தெளிவாக எழுதவும்.

4. போலராய்டுகள் என்றால் என்ன? அவை எப்படி தயாரிக்கப்படுகின்றன? அவற்றின் பயன்கள் யாவை?

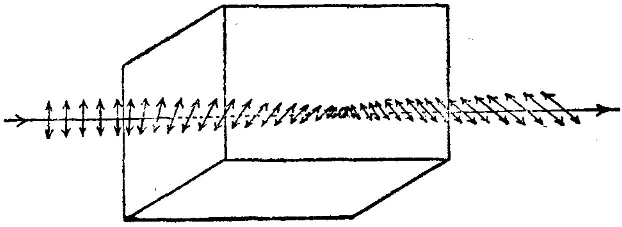
5. பாபினட் ஈடுசெய்வியை விவரிக்கவும். கால் அலைத் தகட்டினுக்கும், பாபினட் ஈடுசெய்விக்குமான பயன்முறை வேறுபாடுகள் என்ன? பாபினட் ஈடுசெய்வி கொண்டு தளவிளைவுற்ற ஒளிகளை பகுத்தறிதலை விளக்கவும்.

6. ஃபிரனல் சாய்சதுரத்தினைக் கொண்டு தளவிளைவுற்ற ஒளியை பகுத்தறிதல் எவ்வாறு?

24. ஒளியியல் வினை

24.1 ஒளியியல் வினை—விளக்கம்

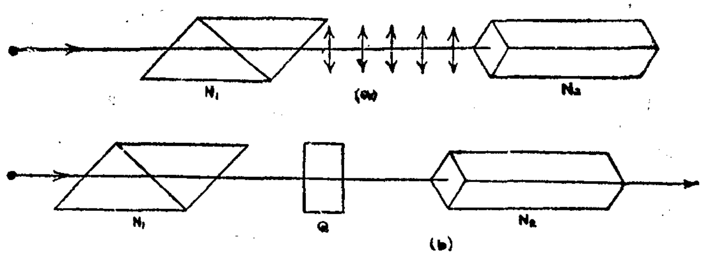
தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியின் அதிர்வுகளைக் கொண்டுள்ள தளமானது, தளவிளைவுத் தளம் (plane of polarisation) ஆகும். குவார்ட்ஸ் (Quartz), சர்க்கரை போன்ற படிகங்களின் வழியாக தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளி செல்லும்பொழுது, தளவிளைவுத் தளம் சில டிகிரி கோண அளவு சுழற்றப்படுகின்றது.



படம் 24.1

படம் 24.1-ல் குவார்ட்ஸ் படிகமொன்றின் முனை முகப்பொன்றில் தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளி படுதல் காட்டப்பட்டுள்ளது. படும் ஒளியின் அதிர்வுகள் ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். படிகத்தினுள் தளவிளைவுற்ற ஒளி பரவும்பொழுது, அதனை தளவிளைவுத் தளமானது பரவும் திசையையே அச்சாகக் கொண்டு மெதுவாக சுழற்றப்படுகின்றது. இதனால் வெளிவரும் ஒளியில் உள்ள அதிர்வுகள் புதியதொரு தளத்தில் அமைந்துள்ளன.

இந்தச் சுழற்சி ஏற்படுதலை ஆய்வொன்றின் மூலம் செய்து காட்டலாம். குவார்ட்ஸ் படிகமொன்றை அதன் முகப்புகள் ஒளியியல் அச்சினுக்குக் குத்தாக இருக்கும்படி வெட்டி எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். அதன் தடிமம் தளவிளைவுற்ற ஒளியினை 90° சுழற்றும் அளவுக்கு இருப்பதாகக் கொள்வோம்.



படம் 24.2

படம் 24.2 (a)-ல் இரண்டு நைக்கல் பட்டகங்கள் N_1, N_2 குறுக்குறு நிலை (Crossed position) யில் வைக்கப்பட்டுள்ளது காட்டப்பட்டுள்ளது. N_1-ன் மீது படும் ஒளி தளவிளைவுற்ற பின்னர் N_2-வை அடையும்பொழுது, N_2-வின் முதன்மைத் தளம் அதிர்வுகளுக்கு குத்தாக உள்ளமையால் ஒளி கடத்தப்படாது. படம் 24.2 (b)-யில் உள்ளவாறு, குவார்ட்ஸ் படிகம் Q-விளை இரண்டு நைக்கல்களுக்கும் இடையில் வைத்தால், N_1-ன் தளவிளைவு அடைந்த ஒளியின் தளவிளைவுத் தளம் 90° குவார்ட்ஸ் படிகத்தினால் சுழற்றப்படும். இதனால் அதிர்வுகள் N_2-வின் முதன்மைத் தளத்திற்கு இணையாக ஏற்படும். எனவே, ஒளி N_2 மூலம் கடத்தப்படும். மீண்டும் குவார்ட்ஸ் படிகத்தினை எடுத்து விட்டால், N_2 மூலம் வரும் ஒளி தடுக்கப்படுகின்றது.

இவ்வாறு தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியின் தளவிளைவுத் தளத்தினை, ஒளி பரவும் திசையினையே அச்சாகக் கொண்டு சுழற்றும் சில படிகங்களின் இச்செயல், ஒளியியல் வினை (Optical activity) எனப்படும்.

குவார்ட்ஸ், சர்க்கரைக் கரைசல், டர்பென்டைன் முதலிய பொருள்கள் தளவிளைவுத் தளத்தை சுழற்றுகின்றன. இப் பொருள்கள் ‘ஒளியியல் வினைப் பொருள்கள்’ எனப்படும்.

கால்சைட் எந்தவிதமான மாற்றத்தையும் உண்டாக்காது. எனவே இது ஒளியியல் வினையற்றது ஆகும்.

ஒளியியல் வினைக் கொண்ட சில பொருள்கள் தளவிளைவுத் தளத்தை வலது பக்கமாக சுழற்றும். இவை ‘டெக்ஸ்ட்ரோ சுழற்றி’ (Dextro rotatory) அல்லது ‘வலப்பக்கச் சுழற்றி’ கொண்டவைகள் எனப்படும். குவார்ட்ஸ் இந்த வகையைச் சார்ந்தது.

சில ஒளியியல் வினைப் பொருள்கள் தளவிளைவுத் தளத்தை இடது பக்கமாக சுழற்றும். இவை 'லிவோ சுழற்சி' (Laevo rotatory) அல்லது 'இடப்பக்க சுழற்சி' கொண்ட பொருள்கள் எனப்படும். சர்க்கரைக் கரைசல், டர்பன்டைன், சோடியம் குளோரைடு மற்றும் சின்னபார் (Cinnabar) முதலியவை இந்த வகைப் பொருள்கள்.

கரைசல்களில் ஏற்படும் ஒளியியல் வினையின் அளவானது அவற்றின் செறிவைப் பொறுத்தது. இதனால் கரும்புப் பாலி லிருந்து கிடைக்கக் கூடிய சர்க்கரையின் அளவை கணக்கிட இயலும்.

24.2 தன் சுழற்சித் திறன்

தளவிளைவுத்தளம் சுழற்சி அடைதலை, பல ஆய்வுகளைக் கொண்டு ஆய்ந்து பயட் (Biot) சில முக்கிய முடிவுகளைக் கொடுத்தார்.

கொடுக்கப்பட்ட ஒளியியல் வினைப்பொருள் தளவிளைவுத் தளத்தை சுழற்றும் கோணம் θ எனில், இந்த சுழற்சிக்கோணம் θ,

(i) ஒளியியல் வினைப் பொருளின் தடிமம், அதாவது அதன் வழியே அமையும் பாதை நீளத்திற்கு (l) நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

(ii) பொருளின் செறிவிற்கு (c) நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

(iii) படு ஒளி அலை நீளத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்தி லுள்ளது $\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$

(iv) வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

இந்த முடிவுகளைக் கொண்டு, குறிப்பிட்ட ஒற்றையலை நீள ஒளி பயன்படுத்தப்படும்பொழுது, வெப்பநிலை மாறுததாக இருந்தால்,

$$\text{சுழற்சிக் கோணம், } \theta \propto l$$

$$\propto c$$

அல்லது, $\theta = S l c$ ஆகும்.

வழக்கமாக ஒரு டெசி மீட்டர் (10 செ.மீ.) நீளத்தில் ஏற்படும் சுழற்சியைக் கணக்கிடுதல் உண்டு. எனவே நீளம் சென்டிமீட்டர்களில் கொடுக்கப்பட்டிருந்தால்,

$$\theta = \frac{Slc}{10} \text{ ஆகும்.}$$

இங்கு செறிவு c கிராம்/ க. செ. மீ. அலகில் இருக்கும்.

எனவே, தன்சுழற்சித்திறன் S-ஐ, ஓரலகு செறிவு கொண்ட ஒளியியல் வினைப்பொருளின் ஒரு டெசி மீட்டர் வழியாக தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியானது செல்லும்பொழுது, அதன் தள விளைவுத்தளம் சுழற்றப்படும் கோணம் என வரையறுக்கலாம்.

24.3 தளவிளைவு மானிகள்

ஒளியியல் வினைப்பொருள்கள் தளவிளைவுத் தளத்தினை சுழற்றும் கோணத்தை அளப்பதற்குப் பயன்படும் கருவிகள் தள விளைவு மானிகள் ஆகும். சுழற்சிக் கோணத்தை அளப்பதற்கு எளிதான முறை இரண்டு நைக்கல் பட்டகங்களைப் பயன் படுத்துதல் ஆகும். ஓரச்சைக் கொள்ளுமாறு அமைந்துள்ள இரண்டு நைக்கல்களில், முதல் நைக்கலிருந்து வரும் தளவிளைவு ஒளியினை இரண்டாவது நைக்கல் மூலம் ஆயலாம். இரண்டாவது நைக்கல் பகுப்பான் எனப்படும். பகுப்பானை சுழற்றிக் கொண்டிருந்தால் ஒரு நிலையில் முதல் நைக்கலிலிருந்து வரும் ஒளியானது முழுவதுமாக மறையும். இப்பொழுது ஒளியியல் வினைப்பொருளை நைக்கலுக்கு இடையில் வைக்க வேண்டும். வினைப்பொருள் தள விளைவுத் தளத்தை சுழற்றும். ஆதலால், இரண்டாவது நைக்கல் மூலம் ஒளி வெளிவரும். இந்நிலையிலிருந்து மீண்டும் ஒளி முழுவதுமாக நிறுத்தப்படுவதற்கு பகுப்பானை சுழற்ற வேண்டும். ஒளி முழுவதும் மறையும் நிலையில் சுழற்றுவதை நிறுத்த வேண்டும். முதல் நிலையிலிருந்து இரண்டாம் நிலைக்கு பகுப்பானை சுழற்றிய கோணம், தளவிளைவுத் தளம் சுழன்ற கோணத்தின் அளவாகும். அதாவது ஒளியியல் வினைப்பொருள் தளவிளைவுத் தளத்தை சுழற்றிய கோணம் ஆகும்.

ஆனால் கண்ணினைக் கொண்டு மதிப்பிடுவதன் மூலம் எப்பொழுது ஒளி முழுமையாக நிறுத்தப்படுகின்றது என்பதனை அறிய இயலாது. இதற்கு போலரி மீட்டர்கள் அமைக்கப் பட்டன. இவற்றில் பார்வைப் புலம் இரண்டாகப் பிரிக்கப் பட்டு, ஒருபாதியை எப்பொழுதும் முழு இருளாக இருக்கும்படி

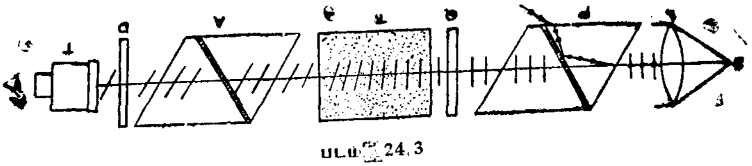
செய்து, மற்ற பாதியையும் அதே நிலைக்குக் கொண்டு வருதலுக்கு பகுப்பான் சுழற்றப்படும் கோணத்தை அளபபதன் மூலம் தளவிளைவுத்தளம் சுழற்றப்படும் கோணத்தை அளக்கலாம்.

குவார்ட்ஸ் படிகத்தை அரைவட்ட அளவுக்கும், மீதி அரை வட்ட பகுதிக்கு கண்ணாடியும் இருக்குமாறு கொண்ட அமைப்பினைக் கொண்டு, லாரண்ட் (Laurent) தளவிளைவு மானியை அமைத்தார். இத்தளவிளைவு மானி அரை நிழல் தளவிளைவு மானி எனப்பட்டது. பின்னர் சில மாற்றங்களுடன் இரட்டை குவார்ட்ஸ், லிப்பிச் போன்ற தளவிளைவு மானிகள் அமைக்கப் பட்டன.

24.4 லாரண்ட் அரை நிழல் தளவிளைவு மானி

இத்தளவிளைவு மானியின் முக்கிய பகுதிகள் இரண்டு நைக்கல் களும், லாரண்ட் அமைத்த அரை நிழல் தகடுமாகும். அரை நிழல் அமைப்பும், வேலை செய்யும் விதமும் மிக முக்கியமான தாகும்.

லாரண்ட் தளவிளைவு மானியின் அமைப்பு படம் 24.3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. S என்னும் ஒற்றை நிற ஒளி மூலத்தி லிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்களை வில்லை L இணையாக்கி P என்னும் நைக்கல் மீது படும்படி செய்கின்றது. நைக்கல் P தளவிளை விப்பான் (Polariser) ஆக செயல் படுகின்றது. P-யினின்று வெளியேறும் ஒளிக்கதிர்கள் தளத்தில் தளவிளைவு அடைந் தவைகளாக உள்ளன.

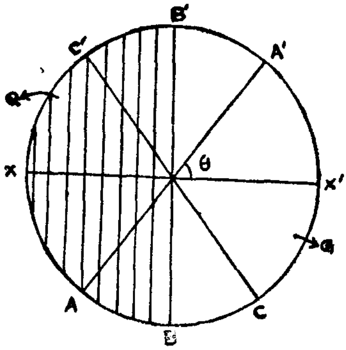


படம் 24.3

தளவிளைவு அடைந்த ஒளியானது பகுப்பானாக செயல் படும் நைக்கல் A-க்கு செல்வதற்கு முன்னால் Q என்னும் குவார்ட்ஸ் அரைநிழல் வழியாகவும், வினைப் பொருள் வைக்கப்படும் குழாய் T_1 வழியாகவும் செல்லுமாறு உள்ளது. D என்பது பகுப் பானுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ள வட்ட அளவுகோல் ஆகும். ஒரு வெர்னியர் அளவு கோலும் D-யில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். ஒரு நிலையிலிருந்து மறுநிலைக்கு பகுப்பான் சுழற்றப்படும் கோணத்தை D-யின் மூலம் துல்லியமாக அளவீடு செய்ய இயலும்.

அரைநிழல் தகடு வேலை செய்யும் விதம்

அரை நிழல் தகடு Q, வட்ட வடிவம் கொண்டுள்ளது. இதன் ஒரு அரைவட்டப் பகுதி குவார்ட்ஸ் படிகத்தாலும், மறு அரைப் பகுதி கண்ணாடித் தகட்டாலும் ஆனவை. படம் 24.4-ல் BXB' குவார்ட்ஸ் பகுதி; $BX'B'$ கண்ணாடிப் பகுதி. கண்ணாடித் தகட்டின் தடிமம் குவார்ட்ஸ் படிகத்தின் வழிவாகச் செல்லும் ஒளியின் அளவுக்கு சமமான ஒளியை கடத்தும் அளவுக்கு உள்ளது. குவார்ட்ஸ் படிகத்தகடு அதன் ஒளியியல் அச்சினுக்கு இணையாக முகப்பு இருக்குமாறு வெட்டப்பட்டுள்ளது. படம் 24.4-ல் BB' ஒளியியல் அச்சினைக் குறிக்கின்றது. குவார்ட்ஸ் தகடு ஒரு அரை அலைத் தகடாகும்.



படம் 24.4

AOA' என்பது களவிளைவிப்பான் நைக்கலின் முதன்மைத் தளம் அமையும் திசை எனக் கொள்வோம். குவார்ட்ஸ் அச்சுடன் AOA' ஆனது θ கோணம் சாய்வில் இருக்கின்றது. AOA'-ன் வழியாகவும், தாளின் தளத்திற்குக் குத்தாகவும் அமையும் தளம் தான், நைக்கல் P-யிலிருந்து வரும் தளவிளைவு ஒளியின் தளவிளைவுத் தளமாகும். படும் தளவிளைவு ஒளியை குவார்ட்ஸ் படிகம் இரட்டை விலக்கத்தினால் சாதாரணக்கதிர், சிறப்புக்கதிர் என்னும் இரண்டு பாகங்களாக்கி, அதன் மூலம் பரவச் செய்கின்றது. குத்துப் படுகையாதலால் சாதாரணக் கதிருக்கான அதிர்வுகள் BOB'-க்கு குத்துத் திசையிலும், சிறப்புக் கதிருக்கான அதிர்வுகள் BOB'-க்கு இணைத்திசையிலுமாக பிரிக்கப்படுகின்றன. இந்த இரண்டு வகை கதிர்களுக்குமான அலைகள் ஒரே திசையில் பரவினாலும், அவைகளுக்கிடையே π அளவு கட்ட வேறுபாடு அல்லது $\lambda/2$ அளவு பாதை வேறுபாடு உண்டாகின்றது. மீண்டும் படிகத் தகட்டினின்று வெளியேறும் சாதாரணக் கதிருக்கும்,

சிறப்புக் கதிருக்குமாக தொகுப்பான் COC' திசையில் அமையும் தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியாக வெளியேறுகின்றது. அதாவது குவார்ட்ஸ் தகடு அதன் வழியாகச் செல்லும் ஒளியினை 2θ கோணம் சுழற்றும். அதே நேரத்தில் கண்ணாடித் தகடு, படும் ஒளியினை அதன் அதிர்வுகளை மாற்றாமல் படும் திசையிலேயே (AOA') செல்லும்படி செய்கின்றது எனவே, அரைநிழல் தகட்டினை விட்டு வெளியேறும் ஒளியானது, தளத்தில் தளவிளைவுற்ற இரண்டு தனித்தனிப் பகுதிகளாக இருக்கும்.

எனவே, பகுப்பானின் முதன்மைத் தளம் படும் திசையான AOA'-க்கு இணையாக இருந்தால், கண்ணாடித் தகட்டின் மூலம் செல்லும் ஒளியானது, பகுப்பானின் வழியாக முழுமையாக தொலைநோக்கி T-க்கு வரும். அதனால் கண்ணாடிப் பகுதி பொலிவு மிக்கதாகத் தெரியும். குவார்ட்ஸ் மூலம் வெளிவரும் ஒளியானது பகுப்பானின் முதன்மைத் தளத்திற்கு 2θ கோணம் சுழற்றப் பட்ட நிலையில் இருப்பதால், செறிவு குறைந்து இருக்கும். இதனால் பார்வைப் புலத்தில் குவார்ட்ஸ் பகுதி பொலிவு குன்றியதாக இருக்கும்.

மாறாக, பகுப்பானின் முதன்மைத் தளம் COC'-க்கு இணையாக இருந்தால், குவார்ட்ஸ் வழியாகச் செல்லும் ஒளி செறிவுமிக்கதாக இருக்கும். கண்ணாடி மூலம் செல்லும் ஒளி பகுப்பான் A-யால் தடுக்கப்படுவதால், இப்பகுதி செறிவு குன்றியதாக இருக்கும். ஆனால் பகுப்பான் A-யின் முதன்மைத் தளம் BOB'-க்கு இணையாக இருந்தால், இரண்டு சமதள ஒளிகளும் சமசாய்வு கொள்ளு கின்றன. எனவே, இரண்டு பகுதிகளும் சமபொலிவு கொண்டு தோன்றும். உண்மையில் இரண்டு பகுதிகளும் சம அளவில் இருளாகத் தோன்றுமாறு அமைத்தால்தான் சிறப்பானது.

சுழற்சிக் கோணத்தைத் தீர்மானித்தல்

லாரண்ட் தளவிளைவு மானியைக் கொண்டு வினைப்பொருள் தளவிளைவுத் தளத்தை சுழற்றும் கோணத்தைத் தீர்மானித்தல் குறித்துப் பார்ப்போம்.

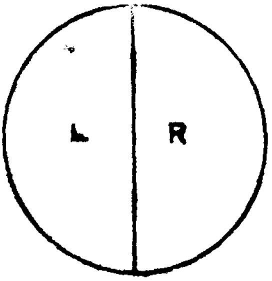
கரைச்சல் வைப்பதற்காக உள்ள குழாய் T_1-ல் (படம் 24.3) தூய கரைப்பான் (Solvent) மட்டும் இருக்கும்படி வைத்து, அதன் வழியாக ஒளிச் செல்லுமாறு செய்து, அரை நிழல் தகட்டின் இரண்டு பகுதிகளும் சமபொலிவு கொள்ளுமாறு செய்ய வேண்டும். இரண்டு பகுதிகளும் சமபொலிவு கொள்ளும் நிலையில்

வெர்னியருடன் கூடிய வட்டு D-யில் முதல் அளவீட்டைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும்.

பின்னர், குறிப்பிட்ட செறிவுக்கு உண்டாக்கிய கரைச்சலை குழாய் T_1-யில் வைத்து தொலைநோக்கி T மூலம் பார்க்க, சம பொலிவு நிலை மாறியிருக்கும். மீண்டும் சமபொலிவு நிலைக்கு கொண்டுவர பகுப்பான் A-யினைச் சுழற்ற வேண்டும். இதனால் வட்டு D-யும் சுழலும். சம பொலிவு நிலை வந்தவுடன் இரண்டாவது அளவீட்டினைக் குறித்து, இரண்டு அளவீடுகளுக்குமான வேறுபாடு கண்டால் சுழற்சிக் கோணம் கிடைக்கும்.

24.5 இரட்டை குவார்ட்ஸ்

ஒரு பாதி வட்டப் பகுதி குவார்ட்ஸ், மறு பாதி வட்டப் பகுதி சாதாரணக் கண்ணாடித் தகடு கொண்ட அரை நிழல் தகட்டிற்குப் பதிலாக, இரண்டு அரை வட்டத் தகடுகளும் குவார்ட்ஸ் கொண்டு அமைக்கப்பட்டது இரட்டைக் குவார்ட்ஸ் (Biquartz) ஆகும். குவார்ட்ஸ் படிகங்களில் வலப்பக்க சுழற்சி, இடப்பக்க சுழற்சி ஆக இரண்டையும் ஏற்படுத்துபவை உண்டு. ஒரு வகை வலச்சுழற்சி கொண்டது எனில், மற்றது இடச்சுழற்சி ஏற்படுத்துவதாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றது. இவ்வாறு எதிரெதிர் திசைகளில் சுழற்சி ஏற்படுத்தும் இரண்டு குவார்ட்ஸ் தகடுகள் கொண்டு அமைக்கப்பட்டது 'இரட்டை குவார்ட்ஸ்' தகடு ஆகும். இது படம் 24.5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 24.5

ஒற்றை நிற ஒளிக்குப் பதிலாக, இரட்டை குவார்ட்ஸ் பயன்படுத்தும் பொழுது வெள்ளொளியைப் பயன்படுத்தலாம். குறிப்பிட்ட அலை நீளம் கொண்ட ஒளி பயன் படுத்த வேண்டிய அவசியமில்லை.

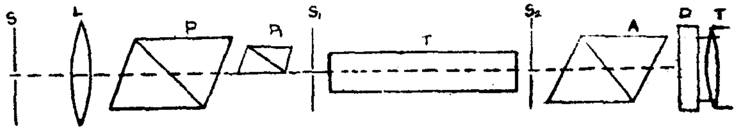
வெள்ளொளி இரட்டைக் குவார்ட்ஸ் மூலம் செல்லும் பொழுது மஞ்சள் நிறம் தணிக்கப்படுகின்றது. இருபகுதி தகடு

களும் 'கடத்து நிறம்' (Tint of passage) கொண்டுள்ளன. பகுப்பானை மேலும் சிறிதளவு சுழற்றி சரியான சமபொலிவு நிலைக்குக் கொண்டு வரலாம்.

சரியான நிலையிலிருந்து பகுப்பானை ஒரு பக்கம் சுழற்றினால் இரட்டைக் குவார்ட்ஸில் ஒரு பகுதி நீல நிறமாகவும் மறுபகுதி சிகப்பு நிறமாகவும் உள்ளது. முதல் சுழற்று திசைக்கு எதிர் திசையில் சுழற்றினால், நீலமாக இருந்த பகுதி சிகப்பாகவும், சிகப்பாக இருந்த பகுதி நீலமாகவும் மாறித்தோன்றுகின்றது. இந்த மாதிரியான தனித்தனி நிறங்கள் இல்லாமல் இரண்டு பகுதியும் ஒரே நிற ஒளி கொண்டு வெளுத்து சமபொலிவுடன் தோன்றும் நிலை 'கடத்துநிற' நிலை எனப்படும்.

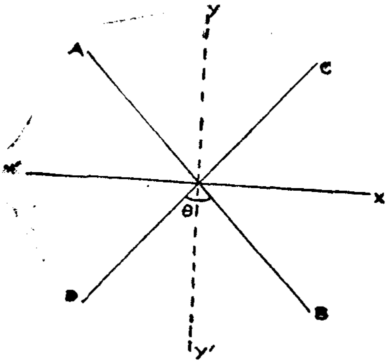
24.6 லிப்பிச் தளவிளைவு மானி

லிப்பிச் (Lippich) அமைத்த போலாரி மீட்டரில் அரை நிழல் தகடு நீக்கப்பட்டு, அதற்குப் பதிலாக சிறிய நைக்கல் பட்டகம் P_1 படம் 24.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு அமைப்பட்டது. தள விளைவிப்பான் P, பகுப்பான் A இவை இரண்டிற்குமான பொது அச்சினை, சிறிய நைக்கல் P_1-ன் கீழ்பக்கம் தொட்டு கொண்டிருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் நைக்கல் P_1-ன் முகப்பையும் தொலை நோக்கி T மூலம் பார்க்கலாம்.



படம் 24.6

P_1-யை அடுத்து வைக்கப்பட்டுள்ள துளைத்திரை S_1, A-க்கு முன்னால் உள்ள துளைத்திரை S_2, இவை இரண்டிற்குமிடையே கரைச்சல் வைக்கப்படும் குழாய் T-யை வைப்பதற்கான அமைவுகள் உள்ளன. P_1-யைக் கொண்ட இந்த அமைப்பினால் பார்வை புலம் இரண்டு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு பகுதி P, P_1 இவை இரண்டின் மூலம் செல்லும் ஒளியால் ஒளியூட்டப் படுகின்றது. மறுபகுதி P மூலம் செல்லும் ஒளியால் ஒளியூட்டப் படுகின்றது. P, P_1 இவற்றின் முதன்மைத் தளங்கள் ஒன்றினுக் கொன்று சிறு கோணத்தில் சாய்வு கொள்ளுமாறு அமைக்கப் பட்டுள்ளன. இந்தக் கோணம் 'அரைநிழல் கோணம்' (Half shadow angle) எனப்படும்.



படம் 24.7

படம் 24.7-ல் AB, CD என்பவை முறையே P, P_1 இவற்றின் முதன்மைத் தளங்கள் என்றும், AB, CD இவைகளுக்கிடைப் பட்ட கோணம் 'θ' அரை நிழல் கோணம் ஆகும்.

பகுப்பான் A-யை (படம் 24.( ) அதன் முதன்மைத் தளம் AB-யுடன் பொருந்துமாறு சுழற்றவும். இதனால் பார்வைப் புலத்தின் இடப்பகுதி, வலப்பகுதியை விட பொலிவு கொள்ளும். பகுப்பானின் முதன்மைத் தளம் CD-யுடன் பொருந்துமாறு சுழற்ற பட்டால் வலது பக்கம் பொலிவுடன் இருக்கும் YY', அரை நிழல் கோணம் θ-வை இரண்டு பாகங்களாகப் பிரிக்குமாறு உள்ளது. எனவே, YY'-க்கு பகுப்பானின் முதன்மைத் தளம் இணையாக இருக்கும்படி செய்யப்பட்டால், பார்வைப் புலத்தின் இரு பகுதிகளும் சமமாக ஒளியூட்டம் கொள்ளும்.

YY'-க்கு இடது பக்கம் அல்லது வலது பக்கம் பகுப்பான் கொள்ளும் சிறிதளவு சுழற்சிக்குக் கூட பார்வைப் புலத்தின் பகுதிகள் சமப்பொழிவு அற்றவைகளாக ஆகிவிடும். எனவே, சமபொழிவு நிலையை தெளிவாக அறிய இயலும்.

முன்போலவே வினைப்பொருள் ஒன்று ஏற்படுத்தும் சுழற்சிக் கோணத்தை அளக்க, முதலில் குழாய் T-யில் கரைப்பான் மட்டும் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டு, சமபொலிவு நிலைக்கு சரி செய்து அளவீடு எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். பின்னர் கரைச்சலை எடுத்துக் கொண்டால் சமபொலிவு நிலை மாறும். மீண்டும் சமபொலிவு நிலைக் காண பகுப்பானை சுழற்ற வேண்டும். பகுப்பான் சுழலும் கோணத்தை அதனுடன் இணைந்த வெர்னியர்

அளவீடு வட்டின் மேல் சுழன்ற கோணத்தைக் கொண்டு அளக்கலாம்.

சில வினைப்பொருள்களுக்கான தன் சுழற்சிக் கோணங்கள்

ஒற்றை நிற சோடியம் ஒளி (λ = 5893 ஆ. அ.) பயன் படுத்தி 20° C வெப்ப நிலையில் அளந்து காணப்பட்ட சில வினைப்பொருள் களுக்கான தன் சுழற்சிக் கோணங்கள் அட்டவணையில் கொடுக் கப்பட்டுள்ளன.

வரிசை எண்	பொருள்	தன் சுழற்சி $\left(S = \frac{\theta}{lc}\right)$ டிகிரிகளில்
1.	சர்க்கரைக் கரைச்சல்	+ 66.6
2.	குளுகோஸ் (தண்ணீரில்)	+ 52.5
3.	டார்ட்டாரிக் அமிலம்	+15
4.	டர்பன்டைன்	− 37
5.	கற்பூரம் (ஆல்கஹாலில்)	+ 41

24.7 தளவிளைவுத் தளச் சுழற்சிக்கு ஃபிரனல் விளக்கம்

தளவிளைவுத் தள சுழற்சியானது ஒளியியல் வினைப் பொருள்களின் எல்லாத் தடிமங்களுக்கும் உண்டாகின்றது. தடிமம் அதிகரித்தால் சுழற்சிக் கோணம் அதிகரிக்கின்றது. இதனை ஃபிரனல் கணக்கியல் பகுப்பு மூலம் தெளிவுபட விளக்கினார்.

படும் ஒளியானது தளத்தில் தளவிளைவுற்றது எனில், ஒளியியல் வினை கொண்ட பொருளின் ஒளியியல் அச்சின் வழியாக பரவும் பொழுது, இரண்டு வட்டத் தளவிளைவுற்ற ஒளிகளாகப் பிரிக்கப் படுவதாகக் கொள்ளலாம். வட்டத் தளவிளைவுகள் சம அதிர்வுகளுடனும், சம வீச்சுக்களுடனும் எதிரெதிர் திசைகளில் இருக்கின்றன. இந்த இரண்டு வட்ட இயக்கங்களின் தொகு பயன் ஒரு நேர் கோட்டியல் அதிர்வு ஆகும்.

ஒளியியல் வினை கொண்ட பொருளின் மீது படும் தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியினை,

$$x = 2a \cos \omega t \quad \text{எனக் குறிப்போம்.}$$

ஊடகத்தினுள் நுழைந்தவுடன் எதிர் திசைகளில் அமையும் இரண்டு வட்ட இயக்கங்களாகப் பிரிக்கப்படுகின்றது. அவற்றில் இடஞ்சுழி கொள்ளும் வட்ட இயக்கத்தை,

$$x_1 = a \cos \omega t, \quad y_1 = a \sin \omega t \qquad \text{——— 1.}$$

என்னும் சமன்பாடுகளினாலும், வலஞ்சுழி கொள்ளும் வட்ட இயக்கத்தை,

$$x_2 = a \cos \omega t; \quad y_2 = -a \sin \omega t \qquad \text{——— 2.}$$

என்னும் சமன்பாடுகளினாலும் குறிக்கலாம்.

ஊடகத்தினுள் கடத்தப்படும் பொழுது இரண்டு வட்ட அதிர்வுகளும் வெவ்வேறு திசை வேகங்களுடன் பரவுகின்றன. இதனால் கட்ட வேறுபாடு ஒன்று உண்டாக்கப்படுகின்றது. வலஞ்சுழி அதிர்வுகளைக் கொண்ட அலை '2θ' அளவு அதிகக் கட்டம் கொள்ளுமாறு பரவுகின்றது எனக் கொள்ளலாம்.

இதனால் வலஞ்சுழியாக பரவும் அலையின் x, y பகுதிகளை,

$$\left.\begin{aligned} x_2 &= a \cos(\omega t + 2\theta) \\ y_2 &= -a \sin(\omega t + 2\theta) \end{aligned}\right\} \qquad \text{——— 3.}$$

என எழுதலாம்.

x, y திசைகளில் அமையும் தொகுபயன் அளவுகளை x_1, x_2 மற்றும் y_1, y_2 இவைகளின் கூடுதல்களைக் காணுதல் மூலம் பெறலாம். கூடுதல்களைக் காண,

$$x = a \cos \omega t + a \cos(\omega t + 2\theta)$$

$$= 2a \cos\theta \cos(\omega t + \theta) \qquad \text{——— 4.}$$

$$y = a \sin \omega t - a \sin(\omega t + 2\theta)$$

$$= 2a \sin\theta \cos(\omega t + \theta) \qquad \text{——— 5.}$$

என்னும் சமன்பாடுகள் கிடைக்கும்.

சமன்பாடுகள் (4), (5) இவைகளிலிருந்து

$$\frac{y}{x} = \tan\theta,$$

அல்லது $y = x\tan\theta$ என்னும் மதிப்பு கிடைக்கும். இச்சமன்பாடு x அச்சினுக்கு θ கோணப் படுகைகொண்டு அமைந்துள்ள நேர்கோட்டினைக் குறிப்பதாகும். இதனால் தளவினைவுற்ற தளம் θ' கோண அளவு சுழற்றப்பட்டிருத்தல் தெரிகின்றது.

மேலும் v_c என்பது வலஞ்சுழி வட்டத் தளவினைவு கொண்ட அலைகளின் திசைவேகமென்றும், v_a இடஞ்சுழி வட்டத்தளவினைவு அலைகளின் திசைவேகம் என்றும் கொண்டால் l நீளம் ஒளியியல் வினைகொண்ட பொருளின்மூலம் பரவும்பொழுது ஏற்படும் காலதாமதத்தை,

$$\left(\frac{l}{v_a} - \frac{l}{v_c}\right) \text{ என எழுதலாம்,}$$

உண்டாகும் கட்ட வேறுபாடு '2θ' எனில்,

$$2\theta = \frac{2\pi}{T}\, l\left(\frac{1}{v_a} - \frac{1}{v_c}\right)$$

$$\text{அல்லது } \theta = \frac{\pi}{T}\, l\left(\frac{1}{v_a} - \frac{1}{v_c}\right) \text{ ஆகும்.}$$

இங்கு T என்பது அதிர்வு காலமாகும்.

வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகம் C எனில்,

$$\theta = \frac{\pi l}{cT}\left(\frac{c}{v_a} - \frac{c}{v_c}\right)$$

என எழுதலாம்.

$$\text{ஆனால் } cT = \lambda\,;\ \frac{c}{v_a} = \mu_a\,;\ \frac{c}{v_c} = \mu_c.$$

இந்த மதிப்புகளுடன் θ-வை எழுத

$$\theta = \frac{\pi l}{\lambda}\left(\mu_a - \mu_c\right)$$

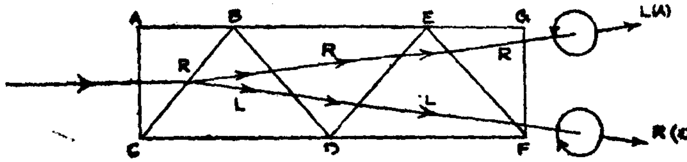
எனக் கிடைக்கும். இங்கு μ_c என்பது இடஞ்சுழி தளவிளைவு ஒளிக்கு விலகல் எண்; μ_c என்பது வலஞ்சுழி தளவிளைவு ஒளிக்கு விலகல் எண்.

கால்சைட் போன்ற ஓரச்சுப் படிகங்களில் ஒளியிடல் அச்சுத் திசையில் $\nu_a = \nu_c$ ஆக இருக்குமாதலால் தளவிளைவுத்தளம் சுழற்றப்படுவதில்லை. இதனால் தளவிளைவுத் தளத்தைச் சுழற்றும் குவார்ட்ஸ் போன்ற விளைப்பொருள்களுக்கு ஒளியியல் அச்சுத் திசையில் இரண்டு திசைவேகங்கள் இருக்கவேண்டுமென்பது தெரிகின்றது. வேறுபட்ட திசை வேகங்கள் இருந்தால் கோளமாகவும், மூவாரவுருவாகவும் பரவும் அலைகள் ஒளியியல் திசையில் ஒன்றையொன்று சந்திப்பதில்லை.

24.8 ஃபிரனல் விளக்கத்தை நிறுவும் ஆய்வு

தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒளியானது படிகத்தினுள் பரவ ஆரம்பித்தவுடனேயே இரு வட்டத் தளவிளைவுற்றவைகளாகப் பரவுகின்றன என்று கொண்டு, ஃபிரனல் தளவிளைவுத் தளச் சுழற்சிக்கு விளக்கம் கொடுத்துள்ளார். இதனை நிறுவும் வகையில் அவரே கீழ்க்காணும் ஆய்வினைக் கொடுத்தார்.

குவார்ட்ஸ் படிகங்களில் வலஞ்சுழி, இடஞ்சுழி என்னும் இரண்டு வகைகளும் உண்டு. இந்த இரண்டுவகைப் பட்டகங்களையும் அடுத்தடுத்து வைப்பதனால் உண்டாகும் செவ்வகப் பட்டகமொன்றைப் படம் 24.8-ல் காட்டியுள்ளவாறு அமைத்தார். இரண்டு வகைப் படிகங்களிலும் ஒளியியல் அச்சானது பட்டகத்தின் அடிப்பக்கத்திற்கு இணையாகவும் படும் ஒளியின் திசைக்கு இணையாகவும் உள்ளது. படத்தில் R வலஞ்சுழிப் பட்டகத்தையும் L என்பது இடஞ்சுழிப் பட்டகத்தையும் குறிக்கும்.



படம் 24.8

முதல் பட்டகத்தின் AC முகப்பின்மீது குத்தாகத் தளத்தில் தளவிளைவு அடைந்த ஒளி படுவதாகக் கொள்வோம். முதல் பட்டகம் ABC-யில் மாற்றம் ஒன்றும் ஏற்படாது. ஆனால் படும் தள

விளைவு ஒளியானது எதிரெதிர்ப் பக்கங்களில் சுழற்சியைக் கொண்களும் இரண்டு வட்டத்தளவிளைவு ஒளியாகப் பிரிந்துவிடும். இரண்டாவது பட்டகத்தினுள் நுழையும்பொழுது வலஞ்சுழி சுழற்சி கொண்ட பகுதி அடர்வுமிகு ஊடகத்தினுள் நுழைவதாகின்றது. இதனால் அடிப்பக்கத்தை நோக்கி வளைகின்றது. இடஞ்சுழிப் பகுதி விலகல் விளிம்பை (refracting edge) நோக்கி வளைகின்றது.

மூன்றாவது பட்டகத்தினுள் நுழையும்பொழுது நன்றாகப் பிரிந்த நிலையில் உள்ளன. பட்டகம் வலஞ்சுழி விளைவை ஏற்படுத்துவதாக (*R*) உள்ளமையால், வலஞ்சுழி சுழற்சி வட்டப் பகுதி விளிம்பைநோக்கியும், இடஞ்சுழி சுழற்சி கொண்டது அடிப் பக்கத்தை நோக்கியும் வளைகின்றன.

இவ்வாறு அடுத்தடுத்த பட்டகங்களில் ஏற்படும் விலகல்களின் காரணமாக இரண்டு பகுதிகளுக்குமிடையே நல்ல இடைவெளி உண்டாகின்றது. இதனால் இரண்டு பகுதிகளையும் தனித் தனியே ஆய இயலும்.

ஃபிரனல் விளக்கமானது சரியானது எனில் இரண்டு பகுதிகளும் வட்டத் தளவிளைவு கொண்டவைகளாகவும் எதிரெதிர்த் திசைகளில் சுழற்சி கொண்டவைகளாகவும் இருக்கவேண்டும். இறுதிப் பட்டகத்தைவிட்டு வெளிவரும் இரண்டு பகுதிகளையும் கால் அலைத் தகடு, நைக்கல் இவற்றினைக்கொண்டு செய்த ஆய்வுகள் ஃபிரனல் எதிர்பார்த்தபடியே இடஞ்சுழி, வலஞ்சுழி வட்டத் தளவிளைவுற்றவைகளாக இருப்பதனை நிறுவின. எனவே, ஃபிரனல் விளக்கம் சரியானதென்பது தெளிவுபட்டது.

வினாக்கள்

1. ஒளியியல் வினை என்றால் என்ன? தன்சுழற்சித் திறனை விளக்குக. லாரன்ட் அரைநிழல் தளவிளைவுமானியை விவரித்து, அதனைக் கொண்டு சர்க்கரைக் கரைசலின் தன்சுழற்சிக் கோணத்தைத் தீர்மானித்தலை விளக்குக.

2. இரட்டைக் குவார்ட்ஸ் என்றால் என்ன? லிப்பிச் தளவிளைவுமானியில் அமைந்துள்ள மாற்றங்களை விளக்குக.

3. தளவிளைவுச் சுழற்சிக்குப் ஃபிரனல் கொடுத்த விளக்கத்தைக் கொள்கையுடன் விளக்குக. ஆய்வுமுறையில் இக் கொள்கையினை நிறுவுக.

25. ஒளியின் மின்காந்தக் கொள்கை

25.1 முன்னுரை

நாம் இதுவரை பார்த்த ஒளியின் நிகழ்வுகளிலிருந்து, அது அலையியக்கம் கொண்டது என்பது தெளிவுபடுகின்றது. இந்த அலைகள் மிக அதிகமான திசைவேகம் c-யுடன் ($c = 3 \times 10^8$ மீட்டர்/விநாடி) பரவுதலும் தெளிவானதொன்று. ஒளிக் குறுக்கீடு, விளிம்பு விளைவு ஆகியவற்றைக் கருதும்பொழுது, அலையானது பரவும்பொழுது உண்டாக்கும் இடப்பெயர்ச்சி எத் திசையில் ஏற்படுகின்றது என்பதைப்பற்றி கவனிக்க வேண்டுவதில்லை. இடப்பெயர்ச்சியின் அளவு மட்டுமே தெரிந்தால் போதுமானதாகும். அவ் விளைவுகளில் ஒளியலைகள் ஒன்றுடன் ஒன்று செயலெதிர் செயல் கொள்ளுதலைப்பற்றி மட்டுமே கருதவேண்டியுள்ளது. இதனால் தொகுபயன் இடப் பெயர்ச்சியின் திசையைப் பற்றி அறியவேண்டிய அவசியம் ஏற்படவில்லை. ஆனால், தளவிளைவைக் கருதுகையில் ஒளியானது பொருளொன்றுடன் ஏற்படுத்தும் செயலெதிர் செயலை கருத்தில் கொள்ளவேண்டியுள்ளது. இதனால் இடப்பெயர்ச்சியின் தன்மையைத் தெளிவுபட கருதவேண்டியுள்ளது. ஒளிபரவும் திசைக்குக் குத்துத்திசையில் இடப்பெயர்ச்சி அமைந்து இருந்தால் தான் தளவிளைவை விளக்க இயலும். இவ்வாறு குத்துத் திசையில் அமையும் இடப்பெயர்ச்சிதான் 'ஒளி வெக்டர்' எனப்படுகிறது.

ஒளிக்குறுக்கீடு, தளவிளைவு ஆகியவற்றிற்கு ஃபிரனல், அலைக்கொள்கை மூலம் தெளிவான விளக்கத்தைக் கொடுத்தார். ஒளி வெக்டரானது எங்கும் பரவியுள்ள ஈதர் ஊடகத்தில் ஏற்படும் உண்மையான இடப்பெயர்ச்சி எனக் கொண்டார். ஆனால், தளவிளைவைக் கருதுகையில் இந்த ஒளிவெக்டர் ஒளி பரவும் திசைக்குக் குத்துத் திசையில் இருத்தல் அவசியம் என்பது தெரிகின்றது. மேலும் ஒளியில் நெட்டலைகள் இருத்தலையே அறியமுடியவில்லை. ஆகவே மீள்சக்தி கொண்ட திடப் பொருளாக அமையும் ஈதரில் இயந்திரவியல் தன்மைகொண்ட அலைகள் பரவுவதாகக் கொள்வது சரியானதன்று. ஏனெனில்

எத் திடப் பொருளும் குறுக்கலை, நெட்டலை இரண்டையும் பரப்புபவையாக இருக்க வேண்டும். இத்துடன் சில சூழ்நிலைகளில் நெட்டலைகள் இல்லாத குறுக்கலைகளைத் தோற்றுவிப்பதும் கடினமானது ஆகும். மேலும் குறுக்கலைகள் பாய்மங்களில் உண்டாகாது; திடப்பொருள்களில் மட்டுமே உண்டாகும். இப்படிப்பட்ட திடப்பொருளாக ஈதரை எடுத்துக்கொண்டால் அதனுடைய அடர்வு, மீள்சக்தி ஆகியவற்றைப்பற்றி மிக அதிக அளவில் கற்பித்துக் கொள்ளவேண்டியுள்ளது.

இவ்வாறான எல்லாக் கடினங்களும் தீரும் வகையில், மாக்ஸ்வெல், ஒளியலைகள் இயந்திரவியல் தன்மை கொண்டவையல்ல; அவை மின்காந்தத் தன்மை கொண்டவை என்று கூறினார். மின்னியலுக்கும் காந்தவியலுக்கும் இடைப்பட்ட சம்பந்தங்களை மாக்ஸ்வெல்லுக்கு முன்னரே ஓர்ஸ்டெட், பாரடே, ஜோசப் ஹென்றி போன்றோர் கொடுத்திருந்தனர். அவர்கள் கொடுத்திருந்த விதிகளைப் பின்பற்றியே 'மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள்' என்னும் நான்கு புகழ்மிக்க சமன்பாடுகளை மாக்ஸ்வெல் வருவித்தார். இச் சமன்பாடுகள் சுருக்கமான வகையில் கணிதவியல் வடிவில் அமைந்து மின்காந்த நிகழ்வுகளை ஆய்தலுக்கு ஏதுவாக உள்ளன. இவற்றினைக் கொண்டு ஒளியும் மின்காந்த அலைகளினை ஒத்தது என்பதுடன், ஒளியினுக்கான சில நிகழ்வுகளையும் விளக்க முயலுவோம்.

25.2 மாக்ஸ்வெல் மின்காந்தச் சமன்பாடுகள்

மின்காந்தப் புலத்தின் அடிப்படை சமன்பாடுகளை,

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho \qquad \ldots\ldots\ldots \text{I.}$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = O \qquad \ldots\ldots\ldots \text{II.}$$

$$\operatorname{Curl} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad \ldots\ldots\ldots \text{III.}$$

$$\operatorname{Curl} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \ldots\ldots\ldots \text{IV.}$$

என எழுதலாம். இங்கு $\vec{D}$ என்பது மின் இடப்பெயர்ச்சி, ρ மின்னூட்ட அடர்வு, $\vec{B}$-மின்காந்தத் தூண்டல், $\vec{H}$-காந்தச் செறிவு, $\vec{J}$ மின் அடர்வு, $\vec{E}$ மின்செறிவு.

சமன்பாடு I

மின்னூட்டம் ஒன்றிற்கான மின்புலத்திற்குக் காஸ் விதியைப் பயன்படுத்த,

$div\ \vec{D} = \nabla \cdot \vec{D} = \rho$ என்னும் முடிவு கிடைக்கும். இங்கு $\vec{D}$ என்பது மின்னியல் இடப்பெயர்ச்சி. ρ என்பது தனித்த மின்னூட்ட அடர்வு (Electric density). இது கூலும்/ (மீட்டர்)^3 அலகுகளினால் அளக்கப்படுகின்றது.

சமன்பாடு II

காந்தப் புலத்திற்கான காஸ் விதி,

$$div\ \vec{B} = \nabla \cdot \vec{B} = 0$$

என்னும் சமன்பாட்டைக் கொடுக்கின்றது.

இங்கு $\vec{B}$ என்பது தூண்டுதல் காந்தமாகும். இதன் அலகு வெபர்/(மீட்டர்)^2 ஆகும். இச் சமன்பாடு தனிமையாக்கப்பட்ட காந்த முனைகள் இருக்க முடியாது என்பதை வலியுறுத்துகின்றது.

சமன்பாடு III

சுற்று ஒன்றில் மின்சாரம் பாயும்பொழுது, உடன் அமையும் காந்தப் புலத்தினைக் குறிக்குமாறு 'சுற்றியல் வடிவில்' ஆம்பியர் விதியை மாக்ஸ்வெல் மாற்றியமைத்தார். அதன்படி

$$\text{Curl}\ \vec{H} = \nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

என்னும் சமன்பாடு கிடைக்கும்,

இங்கு $\vec{H}$ காந்தப்புல வலிமையாகும். இதனை ஆம்பியர்/மீட்டர் என்னும் அலகால் அளக்கலாம்.

சமன்பாடு IV

சுற்றுப் பாதையொன்றில் காந்தப் பாயம் மாறும் வீதத்தினால் மாறுநிலையில் (critical stage) தூண்டப்படும் மின் இயக்கு விசைக்கான பாரடேயின் விதியினை அடிப்படையாகக் கொண்டது ஆகும். இதன்படி

$$\text{Curl}\ \vec{E} = \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

இங்கு $\vec{E}$ என்பது மின்புலச் செறிவு. இதனை வோல்ட்/மீட்டர் என்னும் அலகினால் அளக்கலாம்.

25.3 வெற்றிடத்தில் மின்காந்த அலைகள்

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \qquad \text{...... (1)}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = D \qquad \text{...... (2)}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad \text{......... (3)}$$

$$\nabla \times \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \text{......... (4)}$$

என்பவை மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள் ஆகும்.

இங்கு

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

வெற்றிடத்திற்கு $\rho = O, \quad \sigma = O$

$$\epsilon r = 1 \quad \mu r = 1$$

எனவே மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளை

$$\nabla \cdot \vec{E} = O \qquad \text{......... (5)}$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = O \qquad \text{......... (6)}$$

$$\nabla \times \vec{H} = +\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \qquad \text{........ (7)}$$

$$\nabla \times \vec{E} = \mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \qquad \dots\dots\dots (8)$$

எனத் திருத்தி எழுதலாம்.

சமன்பாடு (7)-க்கு Curl மதிப்பைக் காண

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{H}) = \epsilon_0 \nabla \times \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \text{-ம்}$$

$$\left[\nabla (\nabla . \vec{H}) - \nabla^2 \vec{H} \right] = \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(\nabla \times \vec{E} \right) \dots\dots\dots (9)$$

என்று விரித்து எழுதலாம்

சமன்பாடு (6) மூலம் $\nabla . \vec{H} = O$,

சமன்பாடு (8) மூலம் $\nabla \times \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$ என்னும் மதிப்புகள் கிடைக்கின்றன.

எனவே சமன்பாடு (9)-ஐ

$$\nabla^2 \vec{H} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = O \text{ என்று எழுதலாம்.}$$

மேலும், $\mu_0 \epsilon_0 = \frac{1}{c^2}$ எனக் கொண்டால்,

$$\nabla^2 \vec{H} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t_2} = 0 \qquad \dots\dots\dots (10)$$

சமன்பாடு (8)-ன் Curl மதிப்பினைக் காண,

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \nabla \times \left(-\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \right) \text{ ஆகும்.}$$

விவரித்து எழுத,

$$\left[\nabla (\nabla . E) - \nabla^2 \vec{E} \right] = -\mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \quad (\nabla \times \vec{H}) \quad \dots\dots\dots (11)$$

சமன்பாடுகள் (5), (7) இவைகள் மூலம்.

$$\nabla \cdot \vec{E} = O, \quad \nabla \times \vec{H} = \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

என்பவை தெரியும்.

எனவே சமன்பாடு (11) ஆனது

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = O$$

அல்லது $\mu_0 \epsilon_0 = \frac{1}{c^2}$ என்னும் மதிப்புக் கொண்டால்,

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = O \qquad \ldots\ldots\ldots (12)$$

என்னும் சமன்பாடு கிடைக்கும்.

சமன்பாடுகள் (11), (12) இரண்டினையும்

$\nabla^2 \chi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \chi}{\partial t^2} = O$ என்னும் அலைச் சமன்பாட்டுடன் ஒத்துப்பார்க்க, அவையிரண்டும் இந்தச் சமன்பாட்டுடன் ஒத்திருத்தல் தெளிவு.

எனவே புலவெக்டர்களான $\vec{E}, \vec{H}$ இரண்டும் வெற்றிடத்தில்

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}} = \sqrt{\frac{4\pi}{4\pi \epsilon_0 \mu_0}} = \sqrt{4\pi \times 9 \times 10^9} \times \sqrt{\frac{10^7}{4\pi}}$$

$= 3 \times 10^8$ மீட்டர்/விநாடி வேகத்தில் அலைகளாகப் பரவுதலைக் காணலாம்.

மிகத் துல்லியமான முறைகளில் நிர்ணயிக்கப்பட்ட ஒளியின் திசைவேக மதிப்பு, மின்காந்த அலைகள் பரவும் வேகத்தினையே கொண்டுள்ளன.

இதனால் ஒளியலைகளும் மின்காந்த அலைகளே எனக் கொள்ளலாம். இந்த முடிவின்படி ஒளி ஏற்படுத்தும் சில நிகழ்வுகளை விளக்குவதன்மூலம், இக் கொள்கையின் உண்மையை நிரூபிக்கலாம்.

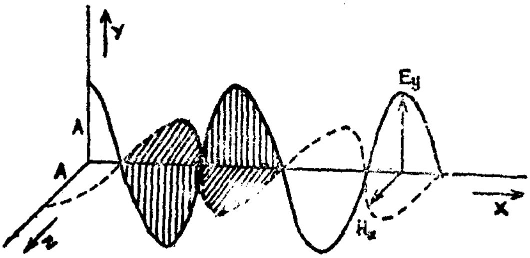
25.4 மின்காந்த அலையின் படவியல் அமைவு

மின்காந்த அலையில் $\vec{E}$, $\vec{H}$ வெக்டர்கள் உள்ளன. தளத்தில் தளவிளைவுற்ற ஒற்றை நிற ஒளி x திசையில் பரவுவதாகக் கொண்டால், வெக்டர்கள் $\vec{E}$, $\vec{H}$ இவற்றின் பகுதிகளை,

$$Ex = O \; ; \; Ey = A \sin(\omega t - kx) \; ; \; Ez = O,$$

$$Hx = O \; ; \; Hy = O \; ; \; Hz = A \sin(\omega t - kx)$$

என்னும் மதிப்புகளால் குறிக்கலாம். X திசையில் பரவும் பொழுது மின்வெக்டர் $\vec{E}$ Y-திசையிலும், காந்தவெக்டர் $\vec{H}$ – Z திசையிலும், பரவும் திசைக்குக் குத்தாகவும் அதிர்வு கொள்கின்றன. அவையிரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக உள்ளன.



படம் 25.1

இதனால் படம் 25.1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு அமைவு கொண்ட அலையானது, மின்வெக்டர் $\vec{E}$-யும் காந்தவெக்டர் $\vec{H}$-ம் மாற்றங்கள் கொள்வதால் பரப்பப்படுகின்றது.

மின்வெக்டர் பகுதி, காந்தவெக்டர் பகுதி இரண்டும் சம கட்டத்தைக் கொண்டுள்ளன. Ey பெருமமாக இருக்கும்பொழுது Hz-ம் பெருமமாக உள்ளது. மேலும் இரண்டு பகுதிகளின் வீச்சுக் களும் சமமாக உள்ளன.

25.5 மின்காந்த அலையில் ஒளிவெக்டர்

மின்காந்த அலையானது மின்னியல், காந்தவியல் ஆகிய இரு பண்புகளையும் கொண்டுள்ளது. இதனால் 'ஒளிவெக்டர்' என்பது

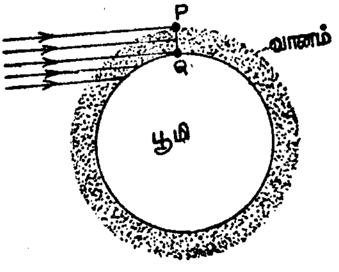
மின்வெக்டரா அல்லது காந்த வெக்டரா என்னும் ஐயம் எழுகின்றது. சாதாரணமாகப் பார்க்கையில் இரண்டுமே சம அளவு முக்கியத்துவம் கொண்டவை எனலாம். ஏனெனில் இரண்டு பகுதிகளிலுமே ஒளியானது பரவும்பொழுது இடப்பெயர்ச்சிகளை ஏற்படுத்துகின்றன. ஒளிக் குறுக்கீடு, விளிம்பு விளைவு இவைகளைக் கருதும்பொழுது, இந்த இடப்பெயர்ச்சிகள்தான் தேவைப்படுகின்றன.

ஆனால் படவியல் தகடுகளில் ஒளியானது படும்பொழுது ஏற்படும் மாற்றங்களும் சில பொருள்களின் மீது (ஸிங்சல்பைடு) ஒளிப்படும்பொழுது ஏற்படும் ஒளிர்தல்விளைவும் மின்வெக்டரால்தான் என்பது தெரிகின்றது. மேலும் கண்ணில் உணர்வை ஏற்படுத்துதலும் மின்வெக்டர்தான் என்று தெரிகின்றது. எனவே மின்காந்த அலையின் மின்பகுதிதான் உண்மையில் ஒளியாக இருக்கின்றது. காந்தப் பகுதி உண்மையில் அமைந்துள்ளது என்றாலும், ஒளியைப் பொறுத்தவரை முக்கியமானது மின்பகுதிதான்.

25.6 சிதறல் ஒளி தளவிளைவடைதல்—விளக்கம்

தளவிளைவுற்ற ஒளியை உண்டாக்குதலுக்கு ஒளிச் சிதறல் வழக்கத்தில் உள்ளதொரு முறையல்ல. ஆனால் ஒளிச் சிதறல் மூலம் தளவிளைவு அடைதலை விளக்க முயலும்பொழுது சிதறலுக்கு காரணமாக அமையும் பொருளினுடைய துகள்களைப் பற்றியும் ஒளியின் தன்மையைப் பற்றியும் அறிய இயலுகின்றது.

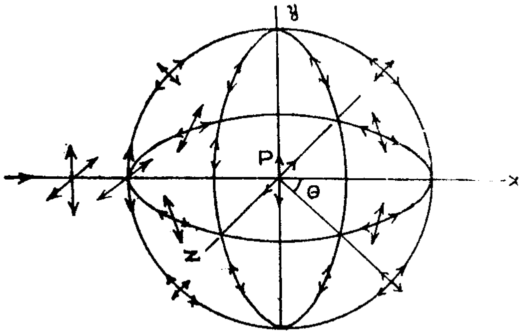
சூரியனின் கதிர்கள் படும் திசைக்குக் குத்தான திசையில் நைக்கல் அல்லது போலராய்டு (Polaroid) கொண்டு நீல வானத்தைப் படம் 25.2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு QP திசையில் பார்க்கவும். பார்த்துக்கொண்டே நைக்கல் பட்டகத்தை சுழற்றினால் ஒளிச் செறிவில் குறிப்பிடத்தக்க மாற்றம் ஏற்படுகின்றது. இதனால் சிதறல் ஒளியின் செறிவு குறைந்து பகுதி தளவிளைவு அடைந்திருத்தல் தெளிவு.



படம் 25.2

ஒளியானது மின்காந்த அலையாகும். எனவே பொருளொன்றில் உள்ள அணு அல்லது மூலக்கூறில் அமைந்துள்ள

பிணைப்பற்ற மின்னூட்டத்துடன் மோதுகையில் அதனை அதிர்வுறச் செய்யும். மின்னூட்டம் அதிர்வுறுகையில் ஒளியை வெளிவிடும். ஒளியின் மின்காந்தக் கொள்கைப்படி [பகுதி 25.5] அதில் அமைந்துள்ள மின்வெக்டர்தான் அதன் பண்புகளுக்குக் காரணம் என்பது தெளிவு. இதனைக்கொண்டு ஒளிச்சிதறல் மூலம் தளவிளைவு ஏற்படுதலை விளக்கலாம்.



படம் 25.3

படம் 25.3-ல் P என்பது அணு அல்லது மூலக்கூறில் உள்ள மின்னூட்டம் கொண்ட எலக்ட்ரான் போன்ற துகள் எனக் கொள்வோம். தளவிளைவுறு மின்காந்த அலைகள் துகளின் மீது பட்டு திணிப்பதிர்வு (forced vibration) ஏற்படுவதால் துகள் அதிர்வுறுகின்றது. துகளானது அலைகளின் அதிர்வு எண்ணைக் கொண்டே அதிர்கின்றது. இந்த அதிர்வுகள் கோளகச் சிதறல் அலைகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இந்தச் சிதறல் அலைகளின் வீச்சும், தளவிளைவும், திசைக்குத் திசை வேறுபட்ட அளவுகளில் இருக்கும். இதனைப் படம் 25-3 விளக்குகின்றது.

பார்வைக் கோட்டிற்குக் குத்துத் திசையில் உள்ள அலையியற்றியின் வீச்சினைப் பொறுத்து சிதறல் ஒளியின் வீச்சு அமையும். Y திசையில் ஏற்படும் திணிப்பதிர்வுகளினால் XY தளத்தில் அமையும் சிதறல் ஒளியின் வீச்சு மாற்றம் Cos θ மதிப்புகளைப் பொறுத்தது ஆகும். இதனால் Y அச்சுத் திசையில் ஏற்படும் வீச்சு சுழியமாகும். Z-திசையில் அமையும் அதிர்வுகளுக்கு, சிதறல் ஒளியின் வீச்சு XY தளத்தில் எல்லாத் திசைகளிலும் மாறாத மதிப்பைக் கொள்கின்றது. ஆனால் XZ தளத்தில், Z அச்சின் திசையில் சுழியமாக அமையும். இதனைக் குறித்து அத்தியாயம் 27-ல் இன்னும் அதிகமாகப் படிக்க உள்ளோம்.

25.7 இரட்டை விலக்கத்திற்கான விளக்கம்

ஒளி கடத்தப் படுமாறு உள்ள ஊடகங்களுக்கான மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள், படிக ஊடகங்களுக்கும் பொருந்தும். இதன்படி,

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial Dx}{\partial x} &= \frac{\partial Hz}{\partial y} - \frac{\partial Hy}{\partial z} \\ \frac{\partial Dx}{\partial x} + \frac{\partial Dy}{\partial y} + \frac{\partial Dz}{\partial z} &= O \\ \frac{\partial Hx}{\partial t} &= \frac{\partial Ez}{\partial y} - \frac{\partial Ey}{\partial z} \\ \frac{\partial Hx}{\partial x} + \frac{\partial Hy}{\partial y} + \frac{\partial Hz}{\partial z} &= O \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

என்னும் சமன்பாடுகள் படிகங்களுக்குப் பொருந்துபவையாகும். ஒருபடித்தான கண்ணடி போன்ற பொருள்களுக்குத்தான் இடப்பெயர்ச்சி மின்சாரம்,

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

என எழுதலாம். ஒருபடித்தானதற்ற (annisoropic) படிகங்களுக்குச் செய்யப்பட்ட அளவீடுகளின்படி மின்கடத்தா மாறிலி ϵ-ன் மதிப்பு மின்புலம் $\vec{E}$-க்கு ஒளியியல் அச்சானது கொள்ளும் சாய்வினைப் பொறுத்து மாறுகின்றது.

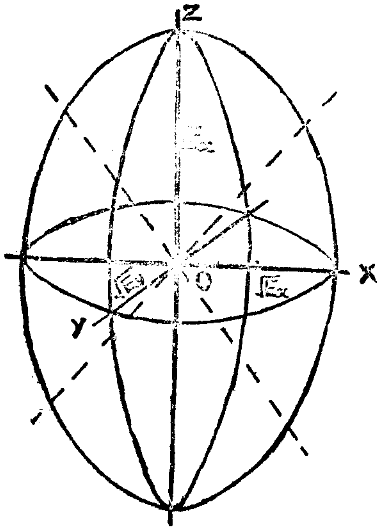
மின்கடத்தா ஊடகங்களுக்கான எலக்ட்ரான் கொள்கைப் படி, அதன் மின்கடத்தா மாறிலியின் மதிப்பானது, படும் மின் புலத்தினைப் பொறுத்து ஏற்படும் அணுக்களின் தளவிளைவு தன்மையைக் கொண்டுள்ளது. மின்புலத்திஞல் அணுக்களில் உள்ள நேர், எதிர் மின்னூட்டங்கள் சிறிதளவு சார்பு இடப் பெயர்ச்சி அடைகின்றன. இதஞல் அணுவானது மின் உந்தம் (electric moment) ஒன்றைப் பெறுகின்றது. எடுத்துக்கொண்ட அணு ஒன்றில் ஏற்படும் உந்தம் அவ் வணுவின்மீது உள்ள மின் புலத்தைப் பொறுத்தது. ஆஞல் இந்த மதிப்பு அந்த அணுவினைச் சுற்றிலும் அமைந்துள்ள மற்றத் தளவிளைவுற்ற அணுக்களில் உள்ள புலத்தினையும் பொறுத்தது ஆகும்.

படிகங்களின் மின்கடத்தா மாறிலி ϵ, திசைக்குத் திசை மாறும் மதிப்பினைக் கொள்வதனைக் கொண்டு இரட்டை விலக் கத்தினை விளக்கலாம். ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக உள்ள முக்கிய

மூன்று திசைகளைத் தவிர மற்ற எல்லாத் திசைகளிலும், இடப்பெயர்ச்சி மின்சாரம் $\vec{D}$-ன் மதிப்பானது படும் மின்புலம் $\vec{E}$ ன் திசையினின்று மாறுபடுகின்றது. இந்த மூன்று திசைகளில் ஒன்றில் ϵ-ன் மதிப்பு பெருமமாகவும், மற்றதில் சிறுமமாகவும், மூன்றாவதில் இவ்விரண்டினுக்கும் இடைப்பட்ட மதிப்பினையும் கொள்கின்றது. இம்மூன்று திசைகளையும் முறையே X, Y, Z எனக் குறிக்க, மாக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளில் அமையும் $\vec{D}$-ன் மதிப்பின் பகுதிகளை,

$Dx = \epsilon x\ Ex$, $Dy = \epsilon y\ Ey$, $Dz = \epsilon z\ Ez$ என எழுதலாம்.

இவ்வாறான மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (1)-ல் பதிலீடு செய்து, தளமின்காந்த அலைக்கான சமன்பாட்டைப் பெற்றால், அலை முகப்பின் எல்லாப் பரவு திசைகளுக்கும், வெக்டர் $\vec{D}$-ன் அதிர்வுக்கு இரண்டு திசைவேகங்கள் இருப்பது தெரியவரும். இந்தத் திசைவேகங்கள் ஒன்றுக்கொன்று குத்தான இரு திசைகளில் அமைந்துள்ளன. இதுதான் இரட்டை விலக்கத்திற்கான அடிப்படையாகும்.



படம் 25.4

மின்காந்தக் கொள்கையின் படி 'மின்கடத்தா நீள்வட்ட மூவாரவுரு' (Dielectric ellipsoid) அடிப்படையில் இரட்டை விலக்கத்தைக் காணுமாறு விளக்கலாம். மின்கடத்தா நீள்வட்ட மூவாரவுருக்கான சமன்பாட்டை,

$$\frac{X^2}{\epsilon x} + \frac{Y^2}{\epsilon y} + \frac{Z^2}{\epsilon z} = 1$$

என்று எழுதலாம்.

இங்கு $\epsilon x, \epsilon y, \epsilon_z$ மூன்றும் முதன்மைத் திசைகளில் அமையும் மின்கடத்தா மாறிலியின் பகுதிகளாகும். மூவாரவுருவின் பாதி அச்சுக்களின் மதிப்புகள் முறையே, $\sqrt{\epsilon x}$, $\sqrt{\epsilon y}$, $\sqrt{\epsilon z}$ ஆகும். மேலும் $\epsilon x < \epsilon y < \epsilon z$ ஆகும்.

படம் 25.4 ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு இயற்கை ஒளியானது (எல்லாத் தளங்களிலும் அதிர்வுகளைக் கொண்டது) படிகத்தினுள் O என்னும் புள்ளியின் வழியாக எல்லாத் திசைகளிலும் செல்வதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது இரட்டை விலக்க அலைப்பரப்புகளைத் தீர்மானிக்கலாம்.

வெற்றிடத்தில் ஒளியின் திசைவேகம் c, படிகத்தினுள் ஒளியின் திசைவேகம் v, விலகல் எண் n மற்றும் மின்கடத்தா மாறிலி ϵ, இவைகளை இணைக்கும் சமன்பாடு,

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon} \text{ ஆகும்.}$$

அதாவது,
$$v = \frac{c}{n} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \text{ ஆகும்.}$$

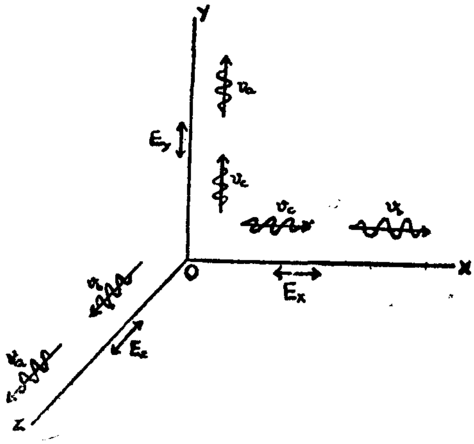
எனவே இச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$v_a = \frac{c}{\sqrt{\epsilon x}} \; ; \quad n_a = \sqrt{\epsilon x}$$

$$v_b = \frac{c}{\sqrt{\epsilon y}} \; ; \quad n_b = \sqrt{\epsilon y}$$

$$v_c = \frac{c}{\sqrt{\epsilon z}} \; ; \quad n_c = \sqrt{\epsilon z}$$

என்னும் மதிப்புகளைப் பெறலாம்.



படம் 25.5

V_a என்பது X திசைக்கு இணையாக மின்இடப்பெயர்ச்சி களைக் கொண்ட அலைகள், X திசைக்குக் குத்தாகப் பரவும் வேகத் தினைக் குறிக்கின்றது. இதேபோன்று Vb, V_c-க்களை அறியலாம்.

இந்தத் திசை வேகங்களை Ex, Ey, Ez இவற்றைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். எல்லாத் திசைகளிலும் அமையும் திசை வேகங் களைக் கணக்கிட்டால், படம் 25.5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு X, Y, Z, மூன்று திசைகளிலும் இரண்டிரண்டு திசைவேகங்கள் உள்ளன.

இவ்வாறு அமையும் இரண்டு திசை வேகங்களினால் இரண்டு அலைகள் இருப்பது தெளிவு. இதனாலேயே இரட்டை விலக்கம் ஏற்படுகிறது.

வினாக்கள்

1. மாக்ஸ்வெல் மின்காந்தச் சமன்பாடுகளை எடுத்துக்கூறி ஒவ்வொரு சமன்பாட்டையும் விளக்கவும்.

2. வெற்றிடத்தில் பரவும் மின்காந்த அலைக்கான சமன் பாட்டைப் பெறுக. மின்காந்த அலையின் வடிவமைப்பை படத் துடன் விளக்கவும்.

3. ஒளியின் மின்காந்தக் கொள்கை மூலம் சிதறல் ஒளி தளவிளைவடைதலை விளக்கவும்.

4. ஒளியின் மின்காந்தக் கொள்கை மூலம் இரட்டை விலக் கத்தை விளக்கவும்.

இரண்டாம் பகுதி

நிறமாலையியல்

26. நிறமாலையியல் வகைகளும் ஆய்வுகளும்

26.1 இயற்கையில் அமைந்துள்ள பொருள்களின் இயற்பியல் (Phy i l) தன்மைகளை அறிந்து கொள்ளுதலுக்கு நிறமாலையியல் ஆய்வுமுறைகளினாலும் கொள்கைகளினாலும் பெரிதும் உதவுகின்றது. பூமியின் மீதுள்ள பொருள்களைப் பற்றி மட்டுமேயல்லாமல் தொலைவில் அமைந்துள்ள சூரியன், மற்றும் விண்மீன்கள் ஒளியினையும் ஆராய்ந்து அவற்றினைப் பற்றி அறிந்து கொள்ளும் வகையில் உள்ளது

அலைநீளங்களுக்கொப்ப அமைக்கப்பட்ட கதிர் வீச்சுக்களின் தொகுப்பை நிறமாலை (Spectrum) என வரையறுக்கலாம்.

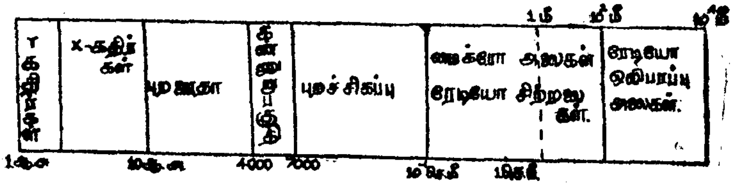
இயற்கையில் உள்ள எல்லா பொருள்களிலிருந்தும், அவற்றினை தக்க முறையில் வைத்து, ஒளியினைப்பெறலாம். இப்படிக் கிடைக்கும் ஒளியினை ஆராய்ந்தபொழுது, ஒவ்வொன்றும் ஒவ்வொரு வகையான நிறமாலையைக் கொடுத்தல் தெரியவந்தது. இதனால் கிடைக்கும் நிறமாலைக்கும் பொருள்களின் பண்புகளுக்குமிடையே நெருங்கிய தொடர்பு இருத்தல் அறியப்பட்டது. இதனால் எல்லா தனிமங்களும் ஆராயப்பட்டு அவற்றின் தனித்தன்மை நிறமாலைகள் பெறப்பட்டன. பின்னர், தெரியாத நிறமாலையொன்று இருந்தால் முன்பே உள்ள நிறமாலைகளுடன் ஒப்பிடப்பட்டு, எப்பொருளால் கொடுக்கப் பட்ட நிறமாலை என்பதனை அறிய முடிந்தது.

பொருளொன்றின் ஒளியிலிருந்து நிறமாலையைப் பெற நிறமாலைமானிகள் அல்லது நிறமாலை வரைவிகள், அவற்றை நிலையாக பதிவு செய்யும் அமைப்பு முதலியன தேவை. நிறமாலைமானியில் தகுந்தபடி நிறப்பிரிகை செய்யும் ஊடகங்கள் (பட்டகம்) தெரிந்தெடுக்கப்படல் வேண்டும்.

சர் ஐசக் நியூட்டன் அவர்கள் பட்டகத்தின் வழியாக ஒளியினை அனுப்பி நிறப்பிரிகையை ஏற்படுத்திய 1666-ஆம் ஆண்டு நிறமாலையியலின் தொடக்கமெனக் கூறலாம். தொடக்க காலத்தில் ஆய்வுகள் நடத்திய வல்லுனர்கள் எல்லாம் கண்ணுக்குப் புலனாகும் கண்ணுறுப் பகுதியில் மட்டுமே வேறுபட்ட ஒளி மூலங்களுக்கான நிறமாலைகளை ஆய்ந்தனர். ஆனால் தொடர்ந்து ஆய்வுகளின் மூலம் கண்ணுறுப் பகுதி மட்டுமேயல்லாமல், கண்ணுறு பகுதியில் பலவகைப்பட்ட கதிர்வீச்சங்கள் இருத்தலும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. அவை எந்த முறைகளினால் வெளியிடப்படுகின்றன என்பதும் தெளிவு படுத்தப் பட்டுள்ளன.

கண்ணுறுப் பகுதியானது கதிர்வீச்சங்கள் அமைப்பில் மிகக் குறுகிய இடைவெளியில் அமைந்துள்ளன. இந்தப் பகுதியினைத் தான் நாம் ஒளி என்கின்றோம். கீழ் அலைநீள மட்டமாக ஊதாவையும் மேல் மட்டமாக சிகப்பையும் கொண்டுள்ளது கண்ணுறுப் பகுதியாகும்.

இந்த பகுதியின் கீழ்மட்ட அலைநீளங்களை அடுத்தும் (ஊதாவுக்கு குறைந்த அலைநீளம்) கதிர் வீச்சங்கள் இருத்தல் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இப்பகுதி 'புற ஊதா நிறமாலை'ப் பகுதி எனப்பட்டது. அதே போன்று சிகப்பு நிறத்திற்கு அதிக அலைநீளம் கொண்ட வெப்பக் கதிர்வீச்சுப் பகுதியும் கண்டு பிடிக்கப் பட்டது. இப்பகுதி 'புறச் சிகப்பு நிறமாலை' எனப்பட்டது.



மின்காந்த நிறமாலை.

படம் 26.1

ஒளியின் மின்காந்த பண்பு தெளிவாக்கப்பட்ட பின்னர், மற்ற கதிர்வீச்சங்களான γ-கதிர், X-கதிர், மைக்ரோ அலைகள், ரேடியோ அலைகள் போன்ற எல்லாமே மின்காந்தப் பண்பு கொண்டுள்ளன என்பது உணரப்பட்டது. இந்த எல்லா கதிர் வீச்சங்களும் ஒரே திசைவேகத்தைக் கொண்டுள்ளன. அந்த

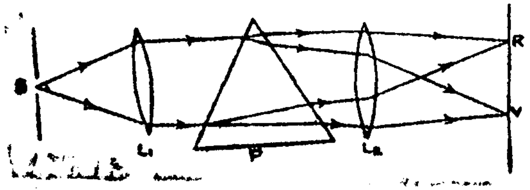
திசைவேகம் ஒளியின் திசைவேகமான 'C' (3×10^8 மீட்டர்/வினாடி) ஆகும். ஆனால் அலை அமையும் பகுதிக்கேற்ப அதிர்வு எண்களும் (ν), அலை நீளங்களும் (λ), $C = \nu\lambda$ என்னும் சமன்பாட்டினை சரிசெய்யும் வகையில் மாறுகின்றன. எனவே கதிர் வீச்சுகளையும் பொதுத் தன்மையானவை என்பதை விளக்கும் நிறமாலைகளின் தொகுப்பு, மின்காந்த நிறமாலை (Electromagnetic spectrum) எனப்படுகின்றது. படம் 26.1-ல் அலை அமையும் பகுதிகளும் அலைநீளங்களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

இவ்வாறு அமைந்துள்ள கதிர்வீச்சுகளில், கண்ணுறுப் பகுதி, புறஊதாப் பகுதி, புறச்சிகப்புப் பகுதி ஆகியவைகளில் பொருள்களுக்கு அமையும் நிறமாலைகள் குறித்து இந்த அத்தியாயத்தில் படிக்க உள்ளோம்.

26.2 கண்ணுறுப்பகுதி நிறமாலை ஆய்வு அமைப்புகள்

நியூட்டன் 1666-ஆம் ஆண்டு பட்டகமொன்றின் வழியாக சூரிய ஒளியினை அனுப்பி நிறப்பிரிகை உண்டாக்கினார். கிடைத்த வரிகளுக்கான தொகுப்பை நிறமாலையென்றார். ஒளி புகுந்து செல்லும் கண்ணாடிப் போன்ற பொருள்கள்தான் நிறங்களைக் கொடுக்கின்றன என்னும் கருத்து அவருக்கு முன்னர் இருந்தது. நிறங்கள் தோன்றுதல் படும் ஒளி நிறப்பிரிகை அடைவதினால் தான் என்பதை நியூட்டன் நிறுவினார்.

இதன் பிறகு, கிட்டதட்ட நூறாண்டுகள் கழித்து உல்லாஸ்டின், ஃபிரான்ஹோபர் இருவரும் குறுகிய பிளவொன்றின் மூலம் சூரிய ஒளியை செலுத்தி நிறப்பிரிகை உண்டாக்கி ஆய்ந்தனர். தொடர்நிறமாலையொன்று கிடைத்தது. ஊதா முதல் சிகப்பு வரையான நிறங்கள் வேறுபட்ட நெடுக்கங்களுக்கு பகுதி பகுதியாக அமைந்து தோன்றின. அவ்வமைப்பினுள் கருமை வரிகள் இருத்தலும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்த வரிகள் பிரான்ஹோபர் வரிகள் (Fraunhofer lines) எனப்பட்டன.



படம் 26.2

பிரான்ஹோபர் என்னும் அறிஞர் தொலைநோக்கிகளுக்கான வில்லைகள் செய்வதில் ஈடுபட்டிருந்தார். பட்டகத்தின் மீது படும் கதிர்களை இணையாக்குவதற்கு வில்லையைப் பயன்படுத்தியதும் கிடைக்கும் நிறமாலையை தொலைநோக்கி கொண்டு ஆய்ந்து முடித்ததும் பிரான்ஹோபரே ஆகும். இதன்படி படம் 26.2-ல் உள்ளவாறு தூய நிறமாலையை பெறும் முதல் அமைவினை உண்டாக்கியவரும் அவரே ஆகும். S என்பது ஒளி மூலம்; L_1 இணையாக்கும் வில்லை; P நிறப்பிரிகையை தோற்றுவிக்கும் பட்டகம். நிறப்பிரிகை அடைந்த பகுதிகளில் ஒரே நிறம் கொண்டவைகளை ஒரே நிலையில் முடியுமாறு செய்வது வில்லை L_2 ஆகும். இதனால் சிகப்பு மேல் பக்கமும், ஊதா கீழ் பக்கமும் அமைந்த நிறமாலை திரையின் மீது உண்டாகும். இதே போன்ற அமைப்பு இன்றும் பயன்படுதல் கருத்திற்கொள்ள வேண்டியது அவசியம்.

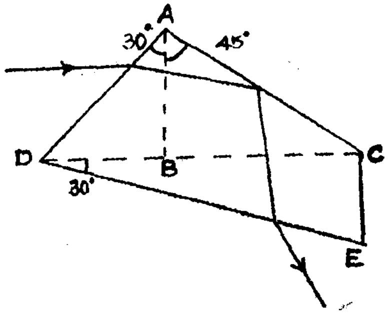
அடுத்து பலவகைப் பட்டகங்களைப் பயன்படுத்தி சூரிய ஒளியில் அமையும் கருமை வரிகள், சூரிய நிறமாலையில் நிலையான இடங்களில் அமைகின்றன என்பதை நிறுவினார். பின்னர் அந்தக் கருமை வரிகள் சூரிய ஒளியில் இல்லாமல் போகும் அதிர்வெண்களுக்கான வரிகள் என்பதனை உணர்த்தினார்.

சோடியம் சுடரை ஒற்றை நிற ஒளியாக பயன்படுத்தியதும், கீற்றணிகளை முதலில் அமைத்ததும் பிரான்ஹோபரே ஆகும்.

பின்னர் 1860-ம் ஆண்டில் புன்சன், கிர்க்காஃப் இருவரும் புன்சன் சுடரில் வேதியப் பொருள்களை இட்டு, அவை வெளியிடும் ஒளிக்கான நிறமாலைகளிலிருந்து, வேதியப் பொருள்கள் இன்னவைதான் என்பது காண இயலுமென நிறுவினர். இதுவே இன்று 'நிறமாலை வேதியியல் பகுப்பு' (Spectrochemical analysis) என்னும் தலைப்பாக உருவாகியுள்ளது.

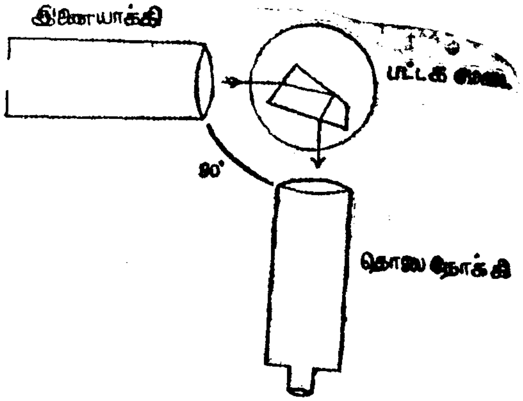
பல பகுதிகளில் அமையும் வரிகளின் நிலைகளை சரியாகக் குறிப்பிட, அவற்றின் அலை நீளங்களை துல்லியமாக அளக்க அலகுகள் தேவைப்பட்டன. 1866-ஆம் ஆண்டு ஆங்ஸ்ட்ராம் என்பார், கீற்றணி கொண்டு சூரிய நிறமாலை வரிகளை ஆய்ந்து நம்பத்தகுந்த அலகு ஒன்றினைக் கொடுத்தார். அந்த அலகு ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு (ஆ. அ.) எனப்படுகின்றது. 1 ஆ.அ. $= 10^{-10}$ மீட்டர். இதன் பிறகு கண்ணுறுப் பகுதியில் அமையும் அலை நீளங்கள் 4,000 ஆ. அ. முதல் 7,000 ஆ. அ. என நிர்ணயிக்கப்பட்டது.

பின்னர் நிறமாலைமானிகளும், நிறப்பிரிகை பட்டகங்களும் அமைக்கப்பட்டன. சாதாரண நிறமாலைமானிகளில் முக்கோண பட்டகங்கள் பயன்படுகின்றன. கண்ணுறுப் பகுதியில் கிரவுன், பிளின்ட் கண்ணாடிப் பட்டகங்கள் நன்கு நிறப்பிரிகையை தோற்றுவிக்கின்றன.



படம் 26.3

மூன்று பட்டகங்களை ஒன்றாக இணைத்து திசைதரு பட்டகங்கள் (Constant deviation prisms) செய்யப்பட்டன. இந்தப் பட்டகங்களை பயன்படுத்த திசைதரு நிறமாலைமானிகள் அமைக்கப்பட்டன.



படம் 26.4

படம் 26.4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு இணையாக்கியும், தொலைநோக்கியும் 90° கோண அமைவில் நிலையாகப் பொருத்தப்

பட்டுள்ளன. இவ்வகை நிறமாலைமானிகள் ஹில்சர் (Hilger) கம்பெனியாரால் நிறுவப்பட்டது. இதனை அலைநீள நிறமாலைமானிகள் என அழைத்தனர்.

படம் 26.3-ல் உள்ள திசைதரு பட்டகத்தில் *AD* பக்கத்தில் படும் ஒளிக்கதிரானது, விலகலுக்குப் பின்னர் *AC* பக்கத்தின் மீது பட்டு முழு அக எதிரொலிப்பு அடைகின்றது. பின்னர் *DE* பக்கத்தின் வழியாக வெளியேறுகின்றது. வெளிவரும் கதிர்கள் நிறப்பிரிகை மூலம் பிரிந்துள்ளன. வெளிவரும் கதிர்கள், படும் கதிர்களின் திசைக்கு சரியாக 90° கோணத்தில் உள்ளமையால் இணையாக்கி, தொலைநோக்கி இரண்டும் நிலையாக பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இந்தவகை அமைவுகள் எல்லாம் இன்றும் நிலைத்துள்ளன.

தொலைநோக்கியின் கண்ணருகிக்குப் பதிலாக படவியல் தகடு அமைவு பொருத்தப்பட்டால் நிறமாலை வரைவி (Spectrograph) எனப்படும்.

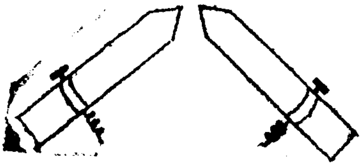
தொடக்கத்தில் சூரிய ஒளி மட்டுமே ஒளி மூலமாக இருந்தது. பின்னர் பலவித ஒளி மூலங்கள் ஏற்படுத்தப்பட்டன. புன்சன் சுடர் (Bunsen flame), மின்விற்கள், வெற்றி - மின்னிறக்கக் குழாய்கள் (Discharge tubes) போன்ற ஒளி மூலங்கள் அமைக்கப்பட்டன.

ஒளி மூலங்கள்

(i) சுடர் நிறமாலை

புன்சன் வாயு விளக்கில் உள்ள சுடரில் பொருளினை இட்டால், பொருள் வெளிவிடும் ஒளி கிடைக்கின்றது. இந்த ஒளியினை நிறமாலைமானி கொண்டு நிறப்பிரிகை செய்தால், சுடர் நிறமாலை கிடைக்கின்றது. இது சில நிறமாலை வரிகள் அல்லது ஒரே வரியினைக் கொண்டுள்ளது.

(ii) மின் வில்



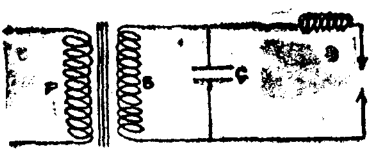
படம் 26.5

30 முதல் 201 வரை மின்னழுத்தமும், 3 முதல் 8 ஆம்பியர் வரை மின்னோட்டமும் கொண்ட நேர்மின்னோட்டம் (D.C.), ஒரே பொருளால் ஆன இரு தண்டுகளை மின்வாய்களாகக் கொண்டு

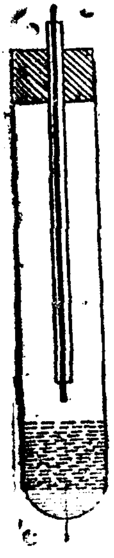
செலுத்தப்பட்டால் மின்வில் உண்டாகின்றது. படம் 26.5-ல் இந்த அமைவு காட்டப்பட்டுள்ளது. இரு கரித்தண்டுகள் இரு செம்புத்தண்டுகள், இரு இரும்புத்தண்டுகள் பயன்படுத்தப்பட்டால், உண்டாகும் வில்கள் அந்தந்த தனிமங்களுக்கான சிறப்பு நிறமாலைகளைக் கொடுக்கின்றன.

(iii) மின் பொறி

தூண்டுச் சுருள் ஒன்றில் இருமுனைகளுக்கிடையே இரண்டு உலோகத்தண்டுகளை இணைத்து, அவைகளின் முனைகள் ஒன்றையொன்று நெருங்கும்படி கொண்டுவந்தால், தண்டுகளுக்கிடையே பொறிகள் உண்டாகும். தண்டுகளுக்கிடைப்பட்ட வாயு அழுத்தம், அயனியாக்க மின்னழுத்தம், மின்வாய்களின் உருவ அமைப்பு ஆகியவற்றைப் பொறுத்து, உண்டாகும் பொறி அமையும். படம் 26.6-ல் உள்ள மின் இணைப்பு பொறி ஒன்றினை ஏற்படுத்த தேவையானதாகும். மின் தேக்கி C-யின் மதிப்பை அதிகரித்தால், உண்டாகும் பொறியின் பொலிவை அதிகரிக்க இயலும்.



படம் 26.6


படம் 26 7

கரைசல் ஒன்றின் பொறி நிறமாலையை உண்டாக்க படம் 26.7-ல் உள்ள அமைவு பயன்படுத்தப்படுகின்றது. சோதனைக் குழாய் ஒன்றில் கரைசல் உள்ளது. குழாயின் அடிப்பக்கத்தின் வழியாக பிளாட்டினக் கம்பி பொறுத்தப்பட்டுள்ளது. கரைசல் கம்பியின் நீளத்திற்கு மேல் மட்டம் கொள்ளுமாறு ஊற்றப்பட வேண்டும். வெளிப்பக்கம் தூண்டுச் சுருளின் எதிர் மின்வாயுடன் இணைக்கப்படல் வேண்டும்.

குழாயின் வாய் ஒருதுளை கார்க் மூலம் அடைக்கப்படுகின்றது. பிளாட்டினக் கம்பி உள்ளாக வைத்து அமைக்கப்பட்ட கண்ணாடித் தண்டு கார்க் துளையின் மூலம் பொருத்தப்படுகின்றது. கரைசலின் மேற்பரப்புக்கும் கம்பிக்கும் இடையே 1 மி.மீ. இடைவெளி இருக்குமாறு வைத்து தூண்டுச் சுருளின் இரண்டாம் நிலை சுற்றுடன் இணைக்கப்படுகின்றது. மேல் உள்ள கம்பிக்கும் திரவப்பரப்புக்குமிடையே பொறி (Spark) உண்டாகும்.

(iv) மின்னிறக்கக் குழாய்கள்

மின்னிறக்கக் குழாய்கள் 500 ஆ. அ. அலைநீளம் வரை குறைந்த அளவு அலை நீளம் கொள்ளும் கதிர்களை உண்டாக்கப் பயன்படும். மின்னிறக்கக் குழாய்கள் குறைந்த அழுத்தத்தில் வாயுக்கள் நிரப்பப்படும் பொழுது ஒளியை உண்டாக்குகின்றன. மின்னிறக்கத்தை தொடர்ந்து ஏற்படுத்த மிக அதிகமான மின்னழுத்தவாட்டம் (Potential gradient) நிலையாக இருக்கும்படி செய்ய வேண்டும். இவ்வாறு இருந்தால் மிக அதிக அளவு ஆற்றல் கொண்ட நிறமாலை வரிகளை வெளியிடுகின்றன. ஜெய்ஸ்லர் (Geisler) ஹைடிரஜன், ஹீலியம் போன்ற வாயுக்களை 1 மி.மீ. முதல் 10 மி.மீ. வரை பாதரச தம்ப அழுத்தங்களில் படம் 26.8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்ற குழாய்களில் அடைத்து, மின்னிறக்கக் குழாய்களை அமைத்தார். A, B போன்ற அகண்ட பகுதிகளுடன் C போன்ற நுண்புழை பகுதியையும் கொண்ட குழாய் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றது. அலுமினியத்தால் செய்யப்பட்டு பிளாட்டின இணைப்பு கொண்ட மின்வாய்கள் E, E, கண்ணாடியுடன் ஒன்றிய நிலையில் உள்ளன. மின்வாய்களுடன் தூண்டுச் சுருளின் இரண்டாம் நிலை சுருள் இணைக்கப்படுகின்றது. 3,000 வோல்ட் முதல் 10,00 வோல்ட் வரை மின்னழுத்தம் ஏற்படுத்தப்படுகின்றது. C பகுதியை நிறமாலைமானி பிளவின் நெருங்கி அமையுமாறு வைத்து நிறமாலையை உண்டாக்கலாம்.

படம் 26.8.

இந்த ஒளி மூலங்கள் மட்டுமேயல்லாமல், நிறமாலை உண்டாக்க வேண்டிய பகுதிக்கு ஏற்றவாறு மேலும் பல ஒளிமூலங்கள் அமைக்கப்பட்டன. இந்த வகை ஒளிமூலங்கள் அனைத்தையும் பயன்படுத்தி கண்ணுறுப் பகுதியில் நிறமாலைகள் உண்டாக்கப்பட்டு ஆயப்பட்டன.

26.3 நிறமாலை வகைகள்

நிறமாலைமானியைக் கொண்டு பலவகை ஒளிமூலங்கள் ஆயப்பட்டதினால், கிடைக்கும் நிறமாலைகள் பலவகைப்பட்டனவாக இருத்தல் தெரிந்தது. இருப்பினும் இரண்டு முக்கிய வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். அவை வெளியிடு நிறமாலை (Emission spectra), உட்கவர் நிறமாலை (Absorption spectra) எனப்படும்.

(a) வெளியிடு நிறமாலை

வெளியிடு நிறமாலையை மீண்டும் தொடர் நிறமாலை (Continuous spectrum), வரி நிறமாலை (Line spectrum) என இரு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம்.

(i) தொடர் நிறமாலை

திடப்பொருள்களும் திரவகங்களும் வெண்மை சூடு (White-hot) நிலைக்குச் செல்லுமாறு வெப்பப்படுத்தப்பட்டால் குறிப்பிட்ட கீழ் அலைநீளம் பகுதிவரை அமையும் எல்லா அலைநீளங்கள் கொண்ட ஒளியையும் வெளிவிடுகின்றன. பட்டகங்கள் மூலம் நிறப்பிரிகை உண்டாக்கிப் பார்த்தால், நிறமாலையில் நிறங்கள் விரவி ஒவ்வொரு நிறப்பகுதியும் அடுத்தடுத்து இடைவிடாமல் அமைந்து தோன்றும்.

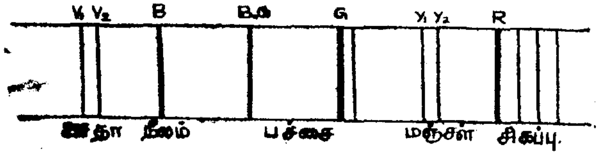
ஊதா	நீலம்	பச்சை	மஞ்சள்	சிகப்பு	

படம் 26.9

படம் 26.9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு நிறப்பகுதிகள் இருக்குமிடமேயல்லாது இடைவெளியோ, வரிகளோ அமைந்திருக்காது.

(ii) வரி நிறமாலை

சுடர்களில் ஆவியாகும் பொருள்கள், மின்வில், மின்னிறக்கக் குழாய்கள் முதலியவற்றில் கிடைக்கும் ஒளியினுக்கான நிறமாலையைக் கவனித்தால், வெவ்வேறு நிறப்பகுதிகளில் நிற வரிகள் தோன்றும். ஒரு வரிக்கும் அடுத்த வரிக்குமிடையே இடைவெளி இருக்கும். இந்த இடைவெளியில் நிறங்கள் தோன்றாது. சோடியம் குளோரைடை சுடர் எரிப்பானில் இட்டால், சோடியத்தின் சிறப்பு வரிகளான D வரிகள் மட்டும் கிடைக்கும். மற்ற பகுதிகளில் எந்தவிதமான ஒளியும் இருக்காது. ஹைடிரஜன் மின்னிறக்கக் குழாய் மூலம் கிடைக்கப் பெறும் ஒளி பார்வைப்புலத்தில் பல வரிகளைக் கொடுக்கும். சாதாரணமாக ஆய்வுக்கூடங்களில் பயன்படும் பாதரச வில் விளக்கு ஒளி உண்டாக்குவதும் வரி நிறமாலையே ஆகும்.



படம் 26.10

படம் 26.10-ல் உள்ளவாறு வரிகள் பாதரச நிறமாலையில் பார்வைப்புலத்தில் தோன்றும். இவ்வகை நிறமாலை 'வரி நிறமாலை' எனப்படும். இவை பொருளில் உள்ள அணுக்களினால் கொடுக்கப்படுபவையென்று குவாண்டக் கொள்கை மூலம் தெரியவருகின்றது.

சில சமயங்களில் பொருள் மூலக்கூறு வடிவில் மட்டுமே இருந்தால் 'பட்டை நிறமாலை' (Band spectrum) உண்டாகின்றது. பல வரிகள் அடுத்தடுத்து சம இடைவெளி கொண்டு அமைந்து தோன்றும். ஊதா பக்கத்தில் அல்லது சிகப்பு பக்கத்தில் உள்ள வரி பொலிவு கொண்டு அமைந்து மற்ற பக்கமாக பொலிவு குறையும் வரிகள் கொண்டு இருக்கும்.

படம் 26.11

படம் 26.11-ல் உள்ளவாறு தோன்றும் நிறமாலை மூலக்கூறுகளினால் வெளியிடப்படுவதாகும். இவை பட்டை நிறமாலை எனப்படும்.

(b) உட்கவர் நிறமாலை

பொருள்களின் வழியாக தொடர் நிறமாலையொன்றை செலுத்தி, கடந்துவரும் ஒளியினை நிறமாலைமானி மூலம் அனுப்பி உண்டாகும் நிறமாலையை கவனித்தால், தொடர் நிறமாலையில் சில இடைவெளிகள் உள்ளன. குறிப்பிட்ட அலைநீளங்களுக்கான பகுதிகள் பொருளினால் உட்கவரப் படுகின்றன. இப்பொருள்களை கிளர்வு (Excited) நிலைக்குச் செல்லுமாறு செய்தால், அவை உட்கவர்ந்த அதே அலைநீளங் கொண்ட ஒளியினை வெளியிடுகின்றன.

இவ்வாறு ஏற்படும் உட்கவர்தல் 'தெரிந்தெடுத்த உட்கவர்தல்' (Selective absorption) எனப்படும்.

உதாரணமாக, கார்பன் வில்விளக்கு கொடுக்கும் தொடர் நிறமாலையை, ஆவி நிலையில் வைக்கப் பட்டுள்ள சோடியத்தின் வழியாக செலுத்தினால், சோடியம் ஆவிவிளக்கு வெளிவிடும் D_1, D_2 வரிகள் அமையும் இடத்தில் வெள்ளை வரிகள் கிடைக்கின்றன. இவை உட்கவர் நிறமாலை எனப்படும்.

படும் ஆற்றலில் உள்ள சில அதிர்வு எண்களுக்கான ஆற்றலை மட்டும் பொருள் உட்கவர்தலினால், இந்தவகை நிறமாலை உண்டாகின்றது.

20.4 பிரான்ஹோபர் நிறமாலை

சூரிய ஒளி தொடர் நிறமாலையை கொடுக்கின்றது எனப் பார்த்தோம். ஆனால் தொடர் நிறமாலையை நன்கு கவனித்தால் சில கருமை வரிகள் இருந்ததைக் காணலாம் 1802-ஆம் ஆண்டு உல்லாஸ்டின் இந்த வரிகளைக் கண்டார். ஆனால் பிரான் ஹோபர் இந்த வரிகளின் அலைநீளங்களைத் தீர்மானித்து, அவை எப்பொழுதும் நிலையான இடத்தில் அமைகின்றன என்பதை 1814-ம் ஆண்டில் செய்து காட்டினார். இந்த கருமை நிற வரிகள் பிரான்ஹோபர் வரிகள் எனப்படுகின்றன.

கிர்க்காப் கதிர் வீச்சங்கள் வெளியிடுதலுக்கு கொடுத்த விதியின்படி, சாதாரண வெப்பநிலைகளில் உள்ளபொழுது பொருள்கள் உட்கவரும் அலைநீளங்கள் கொண்ட கதிர் வீச்சங்களை, அவை கிளர்வுறுமாறு அதிக வெப்பநிலைகளில் வைக்கப்படும் பொழுது வெளியிடும். இதன்படி பிரான்ஹோபர் நிறமாலை ஒரு உட்கவர் நிறமாலையாகும்.

சூரியனின் பரப்பின் மீது வாயு நிலையில் அமைந்துள்ள பொருள்கள், உள் வெப்பநிலையை விட குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ளன. இந்த வாயுக்களின் வழியாக உட்பக்கத்திலிருந்து வெளியிடப்படும் ஒளி பரவும்பொழுது, வாயுநிலையில் உள்ள பொருள்கள் சில அலைநீளங்கள் கொண்ட வரிகளை உட்கவர்கின்றன. இவ்வாறு உட்கவரப்படும் வரிகள் பூமியின் மீதுள்ள பொருள்கள் வெளியிடும் நிறமாலையிலுள்ளன. இதனால் அதே பொருள்கள் சூரியனின் மேற்பரப்பில் வாயுக்களாக இருப்பதனால் உட்கவர்கின்றன என்று விளக்கப் பட்டது. ஹீலியம் முதன் முதலில் பிரான்ஹோபர் வரிகள் மூலம்தான் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது.

முக்கியமான பிராண்ஹோபர் வரிகள் அகரவரிசையில் அமையும் எழுத்துக்கள் கொண்டு குறிக்கப்பட்டன. கீழ் உள்ள அட்டவணையில் அவை கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

வரி	அலைநீளம் (ஆ. அ)
A......	7,594
B	6,867
C......	6,563
D_1......	5,896
D_2......	5,890
F......	4,861
G_1......	4,341
H......	3,9[illegible]9
K......	3,9[illegible]4

26.5 புறச்சிகப்பு நிறமாலை

சிகப்பு நிறத்தினை விட அதிக அலைநீளம் கொள்ளும் பகுதி புறச்சிகப்பு (Infra-red) எனப்படும். இப்பகுதியின் அலைநீளங்கள் 7,500 ஆ. அ. முதல் 1 மி. மீ. வரை இருக்கும். இப்பகுதியில் அமையும் திறன்மிக ஒளிமூலம் சூரிய ஒளியேயாகும். 500 வாட் திறன் கொண்ட டங்ஸ்டன் மின்இழை விளக்கு 3000°K வெப்ப நிலையில் 7,000 முதல் 16,000 ஆ. அ. அலைநீளம் கொண்ட கதிர்வீச்சுகளை வெளியிடுகின்றது. புறச்சிகப்பு நிறமாலை பெரும்பாலும் உட்கவர் நிறமாலையாகவே அமைகின்றது. பொருளொன்று ஏற்படுத்தும் புறச்சிகப்பு நிறமாலை மிகமுக்கியம் வாய்ந்ததாகும்.

செய்முறை அமைப்புகள்

பொருளொன்றின் புறச்சிகப்பு நிறமாலையைப்பெற, குறிப்பிட்ட பகுதி கதிர்வீச்சுகளைக் கொடுக்கும் ஒளிமூலம்

வேண்டும். அவ்வாறான கதிர் வீச்சங்கள் பொருளின் வழியாக செலுத்தப்படும். பொருளினின்று வரும் கதிர்வீச்சம் தகுந்த நிறமாலைமானி அமைவுகள் மூலம் நிறப்பிரிகை செய்யப்படும். இப்பகுதி கதிர்வீச்சங்கள் வெப்பக் கதிர்வீச்சங்களாதலால் போலாமீட்டர் (Bolomter) போன்ற கதிர்வீச்சுப்பகுதிகளில் பயன்படும் பதிவுக்கருவிகள் பயன் படுத்தப்படுகின்றன.

ஒளி மூலங்கள்

புறச்சிகப்பு பகுதிகளில் தேவையான குறுகிய பகுதி தொடர் கதிர் வீச்சங்களைக் கொடுக்க, (i) நெர்ன்ஸ்ட் பொலிவு (Nernst glower) (ii) குலோபார் (Globar) என்னும் ஒளிமூலங்கள் பயன்படுகின்றன. நெர்ன்ஸ்ட் பொலிவு என்பது இழை யொன்றின் மீது தாவுதல் முறையில் சில உப்புக்களின் ஆக்ஸைடுகள் ஏற்றப்பட்ட அமைவு ஆகும். 1,500°k வெப்ப நிலையில் கருமைப் பொருளினை ஒத்த கதிர்வீச்சங்களைக் கொடுக்கின்றது.

குலோபார் என்பது கார்போரண்டம் (சிலிகன் கார்பைடு) தண்டாகும். இது மிகச்சிறந்த கதிர்வீச்சங்களைக் கொடுக்கின்றது.

பொருள்களின் மாதிரிகள்

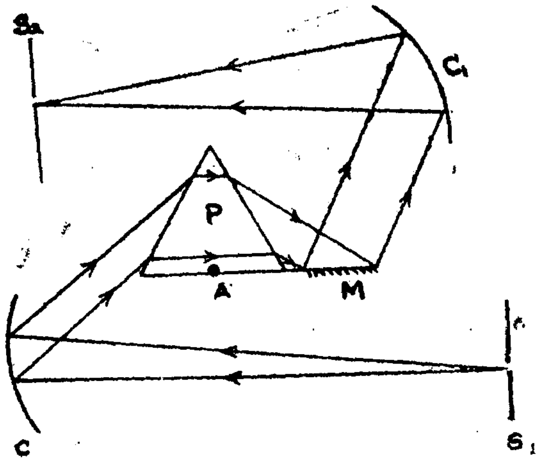
புறச்சிகப்பு நிறமாலையை உண்டாக்கும் பொருளின் மாதிரிகள் தகுந்த முறையில் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன. திடப்பொருள்கள் என்றால் அடர்வுமிகு கரைசலாக்கப்பட்டு, ஆல்கலி ஹாலைடு (Alkali halide) தகடுகளின் மீது ஊற்றப்பட்டு ஆவியாதல் மூலம், தகட்டின் மீது மெல்லிய படலம் ஏற்படுமாறு செய்யப்படுகின்றது. திரவமெனில் 'ராக் சால்ட்' (Rock salt) எனப்படும் படிகத்தினால் ஆன சிறு தடிம சுவர்கள் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட சிறு செல்களில் எடுத்துக்கொள்ளப் படுகின்றது. இந்தப் பொருள் மாதிரிகள் ஒளிமூலத்திற்கும், நிறப்பிரிகை உண்டாக்கும் ஊடகத்திற்குமிடையே வைக்கப் படுகின்றது.

நிறப்பிரிகை ஊடகம்

அலைநீளங்களை அளக்கும் அலகுகளில் $1\mu = 10{,}000$ அ. அ ஆகும். கண்ணாடிப்பட்டகங்கள் 2.5μ வரை கடத்துமாறு உள்ளன. குவார்ட்ஸ் பட்டகங்கள் 3.5μ வரை கடத்துமாறு உள்ளன. 6μ வரை லித்தியம் புளோரைடும், 9μ வரை கால்சியம்

புளோரைடு பட்டகங்களும் நிறப்பிரிகை ஊடகங்களாக அமைகின்றன.

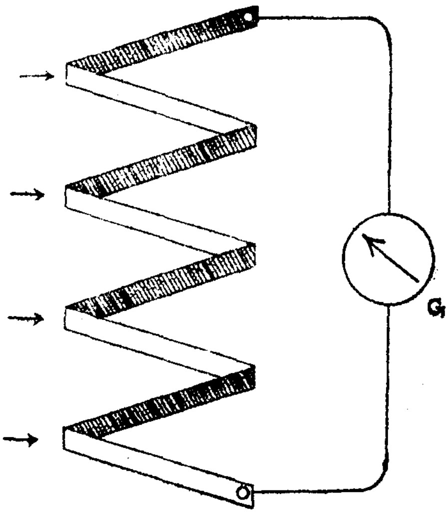
ஒளிமூலங்கள், பொருள்களின் மாதிரி (Sample) நிறப் பிரிகை ஊடகம் மற்றும் பதிவுக் கருவி ஆகியவைகளைக் கொண்டு வெர்ட்ஸ்வொர்த் (Wardsworth) மற்றும் லிட்ரோ (Littrow) இருவரும் அமைத்த நிறமாலைவரைவிகள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன.



படம் 26.12

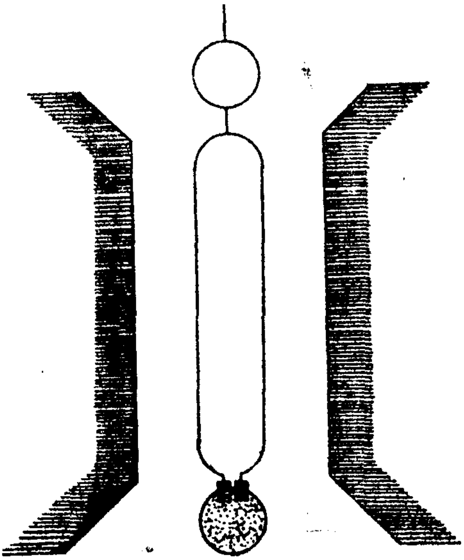
படம் 26.12-ல் வெர்ட்ஸ்வொர்த் நிறமாலைவரைவி காட்டப்படுள்ளது. S என்பது ஒளி மூலத்திலிருந்து வரும் கதிர் வீச்சால் ஒளியூட்டப்பட்ட பிளவு. இதிலிருந்து வரும் கதிர்வீச்சம் பொருளின் வழியாக அனுப்பப்பட்டு பின்னர் பட்டகம் P-யின் வழியாக நிறப்பிரிகைச் செய்யப்படுகிறது. நிறப்பிரிகை அடைந்த ஒளி ஆடி M-ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு C-ஆல் பதிவுக் கருவி அமையும் பக்கத்தில் உள்ள S_2 என்னும் பிளவின் மீது குவிக்கப்படுகின்றது. பயன்படும் பதிவுக் கருவிகள் பெரும்பாலும் படம் 26.13-ல் காட்டப்பட்டுள்ள 'தெர்மோபைல் (Thermopile) அல்லது 26.14-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ரேடியோ மீட்டர் போன்றவைகளாக இருக்கும்.

படும் கதிர் வீச்சங்களுக்கொப்ப இரண்டு பதிவு கருவி களுடனும் இணைக்கப்பட்டுள்ள அமைவுகளில் விலக்கம் ஏற்படும்.



படம் 26.13

இந்த விலக்கங்கள் படும் கதிர்வீச்சத்தின் செறிவுகளைக் கொடுக்கின்றன.



படம் 26.14

அண்மைக் காலங்களில் பொருளொன்றின் புறச்சிகப்பு நிறமாலை சிறந்த அமைப்புகள் மூலமும், தெளிவார் வரைவுகள் மூலமும் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. இதனால் உட்கவர்வரிகளின் அலைநீளங்கள், அவைகளின் செறிவு எல்லாம் பெறப்படுகின்றன. இந்தக்குறிப்புகளைக் கொண்டு மூலக்கூறின் அமைவு முறும், மூலக்கூறின் அணுக்கருக்களுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு, நிலமத் திருப்புத்திறன் போன்ற பல உண்மைகள் கணக்கிடப் படுகின்றன.

புறச்சிகப்பு கதிர் வீச்சங்கள் கொண்டு தொலைதூர காட்சிப் படங்கள் எடுக்கப்படுகின்றன; மேகமூட்டமாக இருந்தாலும் தெளிவான படங்கள் எடுக்க இயலும்.

26.6 புற ஊதா நிறமாலை

அலைநீளம் 4 ஆ. அ. முதல் 4,000 ஆ. அ. வரை கொண்டு அமையும் கதிர் வீச்சங்களின் பகுதி புற ஊதா (Ultra violet) எனப்படும். 4,000 முதல் 2,000 வரை காற்று ஊடுருவிச் செல்லுமாறு உள்ளது. 2,000 ஆ. அ.க்கும் குறைந்த அலைநீளம் கொண்ட பகுதி, காற்றினால் உட்கவரப்படுகின்றன. இதனால் வெற்றிடத்திலேயே இந்தப் பகுதியை ஆராய வேண்டியுள்ளது. இதனால் இது 'வெற்றிட புறஊதா (Vacuum ultraviolet) எனப்படும். 1,200 ஆ. அ. அலைநீளம் கொண்ட கதிர்களை சூமான் (Schumann) என்பாரும், 500 ஆ. அ. அலைநீளம் வரை லைமன் (Lyman) என்பாரும் ஆய்ந்துள்ளனர். வெற்றிடப் பொறியினை ஒளிமூலமாகக் கொண்டு மில்லிகன் 200 ஆ. அ வரை அலைநீளம் கொண்ட கதிர்வீச்சுக்களை ஆய்ந்தார். அதிக ஆற்றல் கொண்ட மூலங்களிலிருந்து வரும் கதிர்களை கீற்றணிகளில் தொடுவியல் முறையில் படும்படிச் செய்து, X கதிர்களுக்கும் 200 ஆ. அ. அலைநீளம் கொண்ட கதிர்களுக்கும் இடைப்பட்ட பகுதி ஆயப்பட்டது.

புறஊதாப் பகுதிகளை பதிவு செய்யும் நிறமாலைமானியானது, ஒளிமூலம், நிறப்பிரிகை ஏற்படுத்தும் ஊடகம், பதிவு செய்யும் அமைவு ஆகியவற்றைக் கொண்டிருக்கும்.

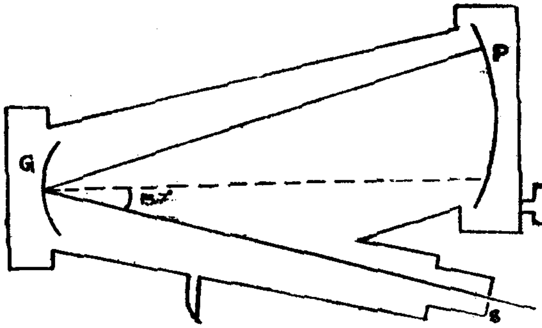
ஒளிமூலங்கள்

புறஊதாப் பகுதியில் அமையும் மூலங்கள் அதிக அளவில் வெற்றிடத்தில் வேலை செய்யக்கூடியவைகளாகவும், தேவையான அதிர்வுமிக்க கதிர்வீச்சை மிகச் செறிவுடன் வெளியிடக்கூடிய

நாகவும் இருக்க வேண்டும். மின்வில்கள், மின்பொறிகள், மின்னிறக்கக் குழாய்கள் போன்ற ஒளிமூலங்கள் பயன்படு கின்றன.

நிறப்பிரிகை ஊடகங்கள்

குவார்ட்ஸ் பட்டகங்கள் 2,000 ஆ. அ. அலை நீளம்வரை பயன் படுத்தப்படுகின்றன. லித்தியம் புளோரைடு, கால்சியம் புளோ ரைடு ஆகியவை 1,000 ஆ. அ. அலைநீளம் வரை பயன்படுத்தப் படுகின்றன. மிகக் குறைந்த அலை நீளங்களுக்கு பட்டகங்கள் பயன்படுத்த முடியாதாகையால் கீற்றணி நிறமாலை வரைவிகள் பயன்படுத்தப்பட்டன.



படம் 26.15

படம் 26.15-ல் குத்துப்படுகை நிறமாலை வரைவி காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் பயன்படும் கீற்றணி G கிட்ட தட்ட ஒரு செ.மீ. நீளத்திற்கு 12,000 வரிகளைக் கொண்டதாகும்,

பதிவு செய்யும் அமைவுகளாக பெரும்பாலும் படவியல் தகடுகள் பயன்படுகின்றன. வெற்றிடப் புறஊதாப் பகுதியில் உணர்வூட்டப்பட்ட படவியல் தகடுகள் பயன்படுத்தப் பட்டன.

புறஊதாக் கதிர்களின் பயன்கள்

ஒளியின் விளைவுகளை உண்டாக்க புறஊதாக் கதிர்கள் பயன் படுகின்றன. ஒளிரும் விளக்குகளில் புறஊதா கதிர்கள் ஏற் படுத்தும் நின்றொளிர்தல் மூலம் கூடுதல் ஒளி பெறப்படுகின்றது. நூல்வெளுக்கிகளில் பகுதிறனை அதிகரிக்க புறஊதாக் கதிர்கள்

பயன்படுத்தப்படுகின்றன. வைத்தியத் துறையில் பலவழிகளில் புறஊதா ஒளி பயன்படுகின்றது. கைரேகை பதிவு செய்வதற்குக் குற்றவியல் துறைகளில் பயன்படுகின்றது.

26.7 டாப்ளர்—ஃபீசோ தத்துவம்

நிலையாக உள்ள மூலமொன்றிலிருந்து λ அலைநீளம் கொண்ட அலைகள் வெளியிடப்படுவதாகக் கொள்வோம். இந்த மூலமானது நிலையான ஊடகமொன்றில் இயக்கத்தினைக் கொண்டால், பார்வையாளருக்கும் மூலத்திற்குமிடையே சார்புத் திசைவேகம் உண்டாகின்றது. இதனால் இயங்கும் மூலத்திலிருந்து வெளியிடப்படும் ஒலி அல்லது ஒளி அலைகளின் அலைநீளங்கள் வேறுபடும் பார்வையாளரை நோக்கி இயக்கம் இருந்தால் அலைநீளம் குறையும், பார்வையாளரை விட்டு விலகிச் சென்றால் அலைநீளம் அதிகரிக்கும். ஒலி (Sound)-யில் இத்தத்துவத்தைக் கொடுத்தவர் டாப்ளர். ஒளி (Light) அலைகளுக்கும் இம்மாதிரியான மாற்றம் ஏற்படுகின்றது என்பதனை நிரூபித்தவர் ஃபீசோ. குறிப்பிட்ட அலைநீளம் கொண்ட ஒளியலைகளைக் கொடுக்கும் ஒளி மூலமானது நிறமாலை மானியை நோக்கியோ அல்லது விட்டு விலகியோ செல்லும் பொழுது, ஒளி அலைகளின் அலைநீளங்கள் மாறுகின்றன எனக் கண்டார். எனவேதான் ஒளியியலில் இத்தத்துவம் டாப்ளர்-ஃபீசோ தத்துவம் எனப்படுகின்றது.

ஒலியியலில் வேகமாகச் செல்லும் வண்டியின் ஊதல் ஒலியானது பார்வையாளரை நெருங்கும்பொழுது சுரவேறுபாடு அடைகின்றது. இதனை செவியானது எளிதில் அறிய இயலுகின்றது. ஆனால் ஒளியியலில் சாதாரண வேகங்களில் ஏற்படும் மாற்றங்களை அறிதல் இயலாது. வானியல் பொருள்களான விண்மீன்களும், கிரகங்களும் அதிகமான வேகம் கொண்டுள்ளமையால், அவை வெளியிடும் ஒளியில் அமையும் சில அலைநீள இடப்பெயர்ச்சிகளையும் கணக்கிடுதல் இயலும். நிலையாக இருக்கும்பொழுது ஏற்படும் நிறமாலை வரிகள், இயக்கத்திலிருக்கும் பொழுது இடப்பெயர்ச்சி அடைகின்றன. இந்த இடப்பெயர்ச்சிகளை அறிதல் மூலம் அவற்றின் திசைவேகங்களைக் கணக்கிட இயலும்.

அலைநீள வேறுபாட்டைக் கணக்கிடுதல்

பார்வையாளர் நிலையாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். ஒளி மூலம் பார்வையாளரை நோக்கி இயங்குவதாகக் கொள்வோம்.

λ அலைநீளம் கொண்ட அலைகள் வெளியிடப்படுவதாகக்கொள் வோம். அலைகளின் திசைவேகத்தை 'c' எனக் கொள்வோம். அதிர்வு எண் 'n' என இருக்கட்டும். ஒளிமூலத்தின் இயக்க வேகம் 'v' எனக் கொள்வோம். அலை நீளம் $\lambda = \frac{c}{n}$ ஆகும். ஒரு அலை வெளியீட்டுக்கும் அடுத்த அலை வெளியீட்டுக்கும் ஆகும் இடை வெளி $\frac{1}{n}$ ஆகும். இந்த இடைவெளியில் மூலமானது $v \times \frac{1}{n}$ தொலைவு பார்வையாளரை நோக்கி நகர்கின்றது. இதனால் முதலில் வெளியிட்ட அலையானது அடுத்து வெளிப்படும் அலையை விட செல்லும் தொலைவு, $(c - v)\frac{1}{n}$ ஆகும். எனவே, பார்வையாளருக்கு அமையும் அலை நீளம் λ' எனில்,

$$\lambda' = (c - v)\frac{1}{n}$$

$$= (c - v)\frac{\lambda}{c}$$

$$= \lambda\left(\frac{c - v}{c}\right)$$

எனவே அலை நீளம் குறையுமென்பது தெளிவு. இதனால் உண்டாகும் நிறமாலை வரியானது ஊதா நிறத்தை நோக்கி இடப் பெயர்ச்சி அடைந்து தோன்றும். உண்மையான அலை நீளத்திற்கும், பார்வையாளர் கணித்த அலை நீளத்திற்குமான வேறுபாடு,

$$\lambda - \lambda' = d\lambda = \frac{v}{c}\lambda$$

இதேபோன்று பார்வையாளர் மூலத்தினை நோக்கி இயக்கத்திலிருந்தாலும், அலைநீளம் குறைதலை விளக்கலாம். இவ்வாறு நிகழும் பொழுது,

$\lambda' = \lambda\left(\frac{c}{c + v'}\right)$ என நிரூபிக்கலாம்.

இங்கு v' என்பது பார்வையாளரின் திசைவேகம். இப்பொழுதும் வரி இடப் பெயர்ச்சி ஊதா நிறத்தை நோக்கியே அமையும்.

ஒளி மூலமானது பார்வையாளரை விட்டு விலகி v திசைவேகத்தில் இயங்கினால், பார்வையாளருக்கு அமையும் ஒளி அலைகளின் அலை நீளம் λ' அதிக மதிப்பு கொள்ளும். இதனால் சிகப்பு நிறப்பக்கமாக வரியானது இடப் பெயர்ச்சி அடையும். இதனை 'சிகப்பு இடப் பெயர்ச்சி' என்பர்.

டாப்ளர் — ஃபிசோ தத்துவத்தின் பயன்கள்

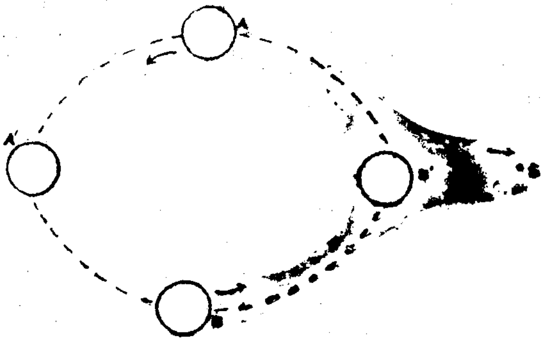
(a) வானியல் பொருள்களின் திசைவேகங்களைக் கணக்கிடல்

வானியல் பொருள்கள் தன்ஒளி படைத்தவை எனில் அவை வெளியிடும் ஒளி கொடுக்கும் நிறமாலையைக் கொண்டு அலை நீளங்களைக் கணக்கிட இயலும். அதேபோன்ற நிறமாலைகளைத் தோற்றுவிக்கும் ஒளி மூலங்களை பூமியில் பெற இயலும். இந்த ஒளி மூலங்களைக் கொண்டு நிலையாக இருக்கும் நிலையில் உள்ள நிறமாலைகளைப் பெறலாம். இரண்டு நிறமாலைகளையும் ஒப்பிட்டு, ஏற்பட்டுள்ள இடப்பெயர்ச்சியை கணக்கிட இயலும். இடப் பெயர்ச்சியின் மதிப்பைக் கொண்டு விண்மீனின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடலாம். மேலும், ஊதா இடப் பெயர்ச்சி அல்லது சிகப்பு இடப்பெயர்ச்சி இவற்றைக் கொண்டு, அந்த விண்மீன் பூமியை நோக்கி வருகின்றதா அல்லது விலகிச் செல்கின்றதா என்பதை அறியலாம்.

(b) இரட்டை விண்மீன்கள் கண்டுபிடிப்பு

இரட்டை விண்மீன்களாக இருக்கலாம் என்பவைகளை டாப்ளர் தத்துவத்தின் மூலம் ஆராய்ந்தறியலாம். நிற மாலை யியல் இரட்டைகள் (Spectroscopic binaries) எனப்படும் இவ் விண்மீன்கள் ஒன்றையொன்று வலம் வருமாறு அமைந்துள்ளன. இவற்றின் ஒன்று பூமியினை நோக்கி வரும் பொழுது மற்றது பூமியிலிருந்து விலகிச் செல்கின்றது.

படம் 26.16-ல் A, B என்பவை இரட்டை விண்மீன்கள் எனக்கொள்வோம். அவை A, B என்னும் நிலைகளில் இருக்கும் பொழுது S என்னும் நிறமாலைமானி மூலம் பார்த்தால், A ஆனது விலகிச் செல்கின்றது. B ஆனது நோக்கி வருகின்றது. இதனால் நிறமாலைமானியில் இரண்டு வரிகள் தோன்றும். ஆனால் A', B'



படம் 26.16

எனப்படும் நிலைகளில் இருந்தால் ஒரே வரிதான் உண்டாகும். அவை மீண்டும் அவற்றின் பாதையில் கால் சுற்று வந்தவுடன் இரண்டு வரிகள் தோன்றும். இவ்வாறு உண்டாகும் இரட்டை வரிகளிலிருந்து கண்டுபிடிக்கப் பட்டமையால் 'நிறமாலை இரட்டைகள்' எனப்படுகின்றன.

(c) சூரியனின் சுழற்சி

சூரியனின் கிழக்குப் பக்க விளிம்பு, மேற்குப் பக்க விளிம்பு இவை இரண்டிலிருந்தும் வரும் ஒளியினை ஆய்தல் மூலம், அது அதனுடைய அச்சினைப் பற்றி சுழலுதலை அறியலாம். வரிகளின் இடப்பெயர்ச்சிகளைக் கொண்டு பார்க்கும் பொழுது கிட்டதட்ட சுழற்சி வேகம் 2 கி.மீ/வினாடி ஆக இருக்கக்கூடும் என்று தெரிகின்றது. சுழற்சி திசையானது பூமியினைப் பொறுத்து கிழக்கிலிருந்து மேற்காக உள்ளது. சுழற்சி அச்சானது வடக்குத் தெற்குத் திசையில் அமைகின்றது.

(d) சனிக் கோளின் வளையங்கள்

சனிக் கோளின் மூல அமைப்பினைச் சுற்றிலும் மூன்று ஒருமைய வளையங்கள் தோன்றுகின்றன. இந்த வளையங்கள் திடமான தட்டு போன்ற அமைப்பு கொண்டவையா அல்லது தனித்தனி சிறு துணைக்கோள்களா என்பதை அந்த வளையங் களிலிருந்து வெளிவரும் ஒளியினைக் கொண்டு நிறமாலையைத் தோற்றுவித்து ஆய்தல் மூலம் அறியலாம். டாப்ளர் இடப் பெயர்ச்சியினைக் கொண்டு பார்க்கும் பொழுது வளையத்தின் உள்பக்கமானது, வெளிப்பக்கத்தினைவிட வேகமாக இயங்குதல் தெரிகின்றது. ஆனால் திடப் பொருள்ளாக இருந்தா வெளிப்

பக்கம் உள் பக்கத்தைவிட வேகமாக இயங்க வேண்டும். இதனால் சனிக் கோளின் வளையங்களில் அமைந்து தோன்றுபவை தொடர்ச்சியற்ற சிறு சிறு தனித்தனியான துணை கோள்கள்தான் என்பது தெளிவு படுகின்றது.

(c) நிறமாலை வரிகள் விரவி தடிமம் கொள்ளல்

இயக்கத்திலிருக்கும் பொருள்களிலிருந்து வரும் ஒளி மூலம் கொடுக்கும் நிறமாலைவரிகள் தடிமமாதல் (Broadening of spectral lines) எதனால் என்பதனை டாப்ளர் விளைவு மூலம் விளக்கலாம். நிறமாலைவரிகள் அணுக்களின் ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையே எலக்ட்ரான் தாண்டுவதனால் உண்டாகுபவை என்பது குவாண்டக் கொள்கை கொடுக்கும் விளக்கம். ஆனால் அதிக வெப்பநிலைக் காரணமாக அணுக்கள் ஒரு நிலையில் இல்லாமல் இயங்கிக் கொண்டுள்ளன. இவ்வாறு இயங்கும் அணுக்கள் நிறமாலைமானியை நோக்கி இயங்குபவை எனில் குறைந்த அலை நீளம் கொண்ட கதிர்களையும், விலகிச் செல்பவையானால் அதிக அலைநீளம் கொண்ட கதிர்களையும் வெளியிடுகின்றன. இதனால் இயற்கையில் மெல்லியதாக தோன்ற வேண்டிய நிறமாலை வரியானது, குறைந்த அலைநீளம், கூடுதல் அலைநீளம் இரண்டினையும் விளிம்புகளாகக் கொள்ளும் தடித்த வரியாக விரவித் தோன்றுகின்றது.

26.8 ஒளிர்தலும், நின்றொளிர்தலும்

மிக அதிகமான வெப்ப நிலைகளுக்கு உயர்த்தப்படும் பொருள்கள் ஒளியினை வெளியிடுதல் தெரிந்ததொன்றாகும். ஆனால் குறைந்த வெப்ப நிலைகளிலேயே ஒளியை வெளியிடும் பொருள்களும் உள்ளன. வெப்பமே இல்லாத போதும் வெளியீட்டுக்கு உதவும் வேறு வகைகளில் அணுக்கள் கிளர்வு (Excitation) நிலையை அடைகின்றன. இவ்வாறு ஒளியை வெளியிடும் பொருள்கள் ஒளிரும் பொருள்கள் எனப்படும்.

புற ஊதா கதிர்கள் போன்ற அதிகமான அதிர்வு எண்கள் கொண்ட மின்காந்தக் கதிர்கள் படுவதினால் சில பொருள்கள் கிளர்வு நிலையை அடைந்து ஒளியை வெளியிடுகின்றன. இவ்வாறு ஒளிவிடும் நிகழ்வு ஒளிர்தல் (Fluorescence) எனப்படும். ஆனால் சில பொருள்களின் மீது கிளர்வை உண்டாக்கும் ஒளிப்படுதலை நிறுத்திய பின்னரும் சிறிதுகாலத்திற்கு ஒளிக் கதிர்கள் வெளியிடப் பட்டுகொண்டிருக்கும். இந்த நிகழ்வு நின்றொளிர்தல் (Phosfluorescence) எனப்படும். இந்நிகழ்

விளைக் கொடுக்கும் பொருள்கள் நின்றொளிரும் பொருள்கள் எனப்படும்.

குயினைன் சல்பேட் (Quinine sulphate) புளோரோஸ்பர் (Fluorospar), பெட்ரோலியம் எண்ணெய், யுரேனியம் கண்ணாடி (Uranium glass) முதலியவை ஒளிரும் பொருள்களுக்கு உதாரணங்களாகும்.

கால்சியம் சல்பைடு, பேரியம் சல்பைடு, ஸ்டிரான்சியம் சல்பைடு போன்றவை நின்றொளிரும் பொருள்களுக்கு உதாரணங்கள் ஆகும்.

ஒளிர்தலுக்கான விளக்கம்

அணுக்களின் அமைப்பினைக் கொண்டு ஒளிர்தலை நன்கு விளக்க இயலும். குறைந்த அலை நீளம் கொண்டுபடும் ஒளியின் ஆற்றலில் ஒரு பகுதியை ஒளிரும் பொருளிலுள்ள அணுக்கள் உட்கவர்கின்றன. இதனால் கிளர்வு நிலையை அடைகின்றன. அதாவது அவை மேல்மட்ட ஆற்றல் நிலைக்கு செல்கின்றன. ஆனால் மேல்மட்ட ஆற்றல் நிலையிலேயே அவை இருப்பதில்லை. மீண்டும் அடிமட்ட நிலைக்கு திரும்பும் பொழுது, நேரடியாக அடிமட்டத்திற்கு வராமல் இடைப்பட்ட நிலைகளுக்கு வந்து இறுதியாக அடிமட்டத்திற்கு வருகின்றன. இதனால் குறைந்த அலைநீள ஒளியினை உட்கவர்ந்த ஒளிரும் பொருளின் அணுக்கள் பெரும்பாலும் அதிக அல்லது சம அலைநீளம் கொண்ட அலைகளைக் கொண்ட கதிர் வீச்சங்களை வெளிவிடுகின்றன.

இவ்வாறு அதிக அலை நீளம் கொண்ட அலைகளை வெளியிடும் தத்துவம் ஸ்டோக் விதி (Stokes law) எனப்படும். (இதனைக் கொண்டே பின்னர் நாம் படிக்க விருக்கும் இராமன் விளைவில் அதிக அலை நீளம் கொண்டுள்ள கூடுதல் வரிகள் ஸ்டோக் வரிகள் எனப்படுகின்றன).

ஒளியின் ஆற்றல் அதன் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்ததாக உள்ளது. வெளிடப்படும் ஒளி அதிக ஆற்றல் கொண்டதாக இருக்க இயலாது. குறைந்த அதிர்வெண் கொண்ட கதிர் வீச்சாக இருப்பதனால் புறஊதா, அல்லது கண்ணுறுப் பகுதியில் அமையும் ஒளி வெளியிடப்படுகின்றது. இதுதான் ஒளிர்தலுக்கு காரணமாகும்.

சில பொருள்கள் ஒளிரும் நிலையில் எலக்ட்ரான்களை வெளியிடுகின்றன. இதனால் ஒளிரும் தன்மை கொண்ட சில படிகங்கள்

ஒளிப் படும்பொழுது மின் கடத்துபவைகளாக மாறுகின்றன. கிட்டத்தட்ட உலோகங்களைப் போன்று கடத்துத்திறன் கொண்டவைகளாகின்றன.

நின்றொளிர்தலுக்கான விளக்கம்

புற ஊதாக் கதிர்களைக் கொண்டு கதிர் வீச்சம் செய்யும் பொழுது கால்சியம் சல்பைடு, பேரியம் சல்பைடு போன்ற பொருள்கள் நின்றொளிர்கின்றன. இவ்வகைப் பொருள்களில் சில வேதிய மாற்றங்கள் (Chemical changes) படும் கதிர்வீச்சால் உண்டாக்கப் படுகின்றன. ஆனால் இந்த மாற்றங்கள் தற்காலிகமானவை. மீண்டும் பழைய நிலைக்கு பொருள் திரும்புதல் வெப்பநிலையையும், பொருளின தன்மையையும் பொறுத்தது ஆகும். மெதுவாக வெப்பப்படுத்தினால் பொருளின் நின்றொளிரும் தன்மையை மாற்ற இயலும். அதாவது ஏற்பட்ட வேதிய ஆற்றலினை வெளிப்படுத்த இயலும். இதனால் பொருள்கள் தாமதித்து ஒளியைக் கொடுக்கின்றன.

நின்றொளிரும் பொருள்களின் காந்தத் தன்மைகளும், கடத்தா தன்மைகளும், ஒளியூட்டத்திற்கு முன்பும் பின்பும் மாறுபட்ட நிலைகளில் இருக்கும்

வினாக்கள்

1. கண்ணுறுப் பகுதியில் அமையும் நிறமாலை ஆய்வு அமைவுகளைப் பற்றி கட்டுரை வரைக.

2. வெளியிடு நிறமாலை, உட்கவர் நிறமாலை, பிரான் ஹோபர் நிறமாலை ஆகியவைகளைப் பற்றி குறிப்பு வரைக.

3. புறச்சிகப்பு நிறமாலைப்பற்றி அமையும் பகுதி, ஒளி மூலங்கள், நிறப்பிரிகை ஊடகம், பதிவு செய்யும் கருவிகள் ஆகியவை, தெளிவுபட அமையுமாறு கட்டுரையொன்று வரைக.

4. புறஊதா நிறமாலையைப் பற்றி சிறுகுறிப்பு வரைக.

5. டாப்ளர்-ஃபிசோ தத்துவம் என்றால் என்ன? இத்தத்துவத்தின் பயன்களை விளக்கவும்.

6. ஒளிர்தல், நின்றொளிர்தல் இரண்டையும் தெளிவுபட விளக்கவும்.

27. ஒளிச் சிதறலும் இராமன விளைவும்

27.1 ஒளி விரவல்

பொருள்களின் மீது ஒளி படும்பொழுது படும் ஒளியை அவை வெவ்வேறு திசைகளில் வேறுபட்ட அளவுக்கு விரவல் அடையும்படி செய்கின்றன. உதாரணத்திற்கு பென்சீன் திரவத்தை பெரிய கண்ணாடிக் குழாயில் வைத்து வெள்ளொளி கொண்டு குறிப்பிட்டத் திசையில் ஒளியூட்டி, படும் திசைக்கு கோணமாக அமையும் திசையொன்றில் பார்க்க, நீலநிற ஒளி கிடைக்கும் ஒளியானது மேக மூட்டமில்லாத நாளில் தோன்றும் வானத்தின் நீலநிறத்தினைப் போன்றே உள்ளது. பென்சீன் திரவத்திற்குப் பதில் வேறு திரவம் இருந்தாலும் நீலநிறம் தோன்றுகின்றது. இவ்வாறு உண்டாகும் ஒளி, சிதறல் ஒளி (Scattered light) எனப்பட்டது. திரவங்கள் மட்டுமேயல்லாமல் திடப்பொருள்களும், வாயுக்களும் இவ்வகையான சிதறலை தோற்றுவிப்பது தெரியவந்தது. ஆக திட, திரவ, வாயு என்னும் மூன்று நிலைகளிலும் பொருள்கள் படும் ஒளியை விரவச் செய்கின்றன. இந்த விரவல் அல்லது சிதறல் மூலம் இயற்கையில் ஏற்படும் மூன்று விளைவுகள் முதலில் கருதப்பட்டன. வானம் ஏன் நீல நிறமாக உள்ளது? கடல் ஏன் நீல நிறமாக உள்ளது? பெரிய அளவில் அமையும் பனிக்கட்டி ஏன் நீல நிறம் கொண்டு தோன்றுகின்றது? இந்த மூன்று கேள்விகளுக்குமான விடைகள் ஒளிச்சிதறல் என்னும் பிரிவு பௌதிகத்தில் ஏற்பட வழிவகுத்தன எனலாம்.

27.2 வானத்தின் நீல நிறம்

லியோனார்டோ டிவின்சி என்பார் காற்றினுள் தொங்கும் நிலையில் அமைந்துள்ள மாசுக்களின் துகள்கள் மீது படும் சூரிய ஒளி சிதறல் அடையும் படிச்செய்யப் படுவதினாலேயே வானம் நீல நிறம் கொள்கின்றது என விளக்கினார். டின்டால் (Tyndall)

என்பார் செயற்கை விண்வெளிகளை உண்டாக்கி அவை ஒளியின் விரவல் செய்யும் முறைகளைப்பற்றி ஆய்ந்தார். அவரது முடிவுகளின்படி ஒளி படும் திசைக்கு குத்து திசையில் (90° கோணத் திசையில்) அதிக அளவு ஒளிச்சிதறல் ஏற்படுதல் பெறப்பட்டது. மேலும் வானின் நீல நிறமும் செயற்கை வெளி உண்டாக்கும் நிறமும் ஒத்திருத்தல் காணப்பட்டது. இதனால் காற்று வெளியானது கொண்டுள்ள பலவகைப்பட்ட மாசுப் பொருள்கள் (தூசுக்கள், நீர்த்துளிகள், சிறுசிறு பனிக்கட்டித் துண்டுகள்) மிதந்தவண்ணம் உள்ளன. இந்த மாசுப் பொருள்கள் ஒளியைச் சிதறுவதினாலேயே வானம் நீல நிறமாக உள்ளது என்னும் கருத்து ஒத்துக் கொள்ளப்பட்டதாக அமைந்தது. எனவே காற்றின் மூலக்கூறுகள் மட்டுமேயல்லாமல் அதில் தொங்கும் நிலையில் அமையும் மாசுப் பொருட்கள்தான் வானின் நீல நிறத் தோற்றத்திற்கு பெருமளவு காரணம் என்னும் டின்டாலின் முடிவு 9-ம் நூற்றுண்டின் இறுதி வரையில் எடுத்துக் கொள்ளப் பட்டது.

டின்டால் அவர்களைத் தொடர்ந்து இராலே (Rayleigh) 1904-ம் ஆண்டு முதல் ஒளிச்சிதறல் குறித்து ஆயத் தொடங்கினர்; ஒளியின் மின்காந்தக் கொள்கையின் அடிப்படையில் ஒளிச் சிதறலுக்கு விளக்கம் கொடுத்தார். முடுக்கப்பட்ட மின்னூட்டம் ஏற்படுத்தும் ஒளி வெளியீடு, அலைவுறும் இருமுனை (Dipole) வெளியிடும் ஒளி போன்ற விதிகளை அடிப்படையாகக் கொண்டு ஒளிச் சிதறலுக்கான கொள்கைகளைக் கொடுத்தார்.

நல்ல மழை பொழிந்து முடிந்த நிலையில் வானம் மிகத் தெளிவாக நீலநிறம் கொண்டிருத்தலை அறிவோம். ஆனால் மழை பொழியும் பொழுது அதில் அமைந்துள்ள தூசுகள் அடித்துச் செல்லப்பட்டு தொங்கும் நிலையில் அமையும் மாசுக்கள் குறைக்கப்படும். இதனால் வானம் நீலநிறமாக அமைய அதிலுள்ள தூசுக்களின் பங்கு குறைவென்பதுடன் காற்றின் மூலக் கூறுகள் ஏற்படுத்தும் ஒளிச்சிதறல்தான் முக்கியக் காரணமென்பது தெளிவுபடுகின்றது.

27.3 கடலின் நீல நிறம்

கடலின் நீல நிறத்திற்கு (1) கடல் நீரில் கலந்துள்ள பலவகை உப்புக்கள் கொடுக்கும் நிறம், அல்லது (2) நீல வானின் எதிரொளிப்புத் தோற்றம், அல்லது (3) படும் சூரிய ஒளி சிதறல் அடையும் பொழுது பார்வையாளரின் கண்ணை அடைதல் அல்லது (4) ஊடுருவல் ஒளி ஏற்படுத்தும் தோற்றம் என நான்கு இயலும் காரணங்கள் கொடுக்கப்பட்டன.

கரைந்துள்ள உப்புகள் மட்டுமே அவ்வளவு நல்ல நீல நிறத்தைக் கொடுக்க இயலாது. கடலின் நீல நிறமானது வானத்தின் நீல நிறத் தோற்றத்தைவிட அதிக நிற அடர்வு கொண்டுள்ளமையால், வானின் எதிரொளிப்பு காரணமாக இயலாது. ஊடுருவல் ஒளி காரணமெனில், பார்வையாளர் நீரின் பின்பக்கம் இருக்கவேண்டும். ஆனால் கரையின் மீது நிற்கும் பார்வையாளருக்கு நீலநிறம் தெளிவாக உள்ளது. எனவே நீரின் மூலக்கூறுகள் ஏற்படுத்தும் ஒளிச் சிதறலினால்தான் கடல் நீல நிறம் கொள்கின்றது என்னும் விளக்கம் பெறப்பட்டது.

1921-ஆம் ஆண்டு சர். சி. வி. இராமன் அவர்கள் மத்தியத் தரைக் கடல்வழியாகச் செல்லும் பொழுது அதன் நீல நிறத்தால் கவர்ச்சியுற்று, பல இடங்களில் கடல் நீரினை சேகரித்து கல்கத்தாவில் அவற்றை ஆய்ந்தார். அந்த ஆய்வுகளின் முடிவுகளின்படி கடலின் நீல நிறத்திற்குப் பலக்காரணங்கள் இருந்தபோதிலும், மூலக்கூறுகள் ஒளியினைச் சிதறுவதினால் ஏற்படும் நீல நிறம்தான் முக்கியமானது என்பது பெறப்பட்டது. ஆக 1921- ஆம் ஆண்டு செப்டம்பர் மாதம் முதல் 'திரவங்களில் ஒளிச் சிதறல்' குறித்து ஆய்வுகள் தொடங்கப்பட்டன. இந்த ஆய்வுகளின் மூலமே 'இராமன் விளைவு' (Raman effect) கண்டுபிடிக்கப் பட்டது.

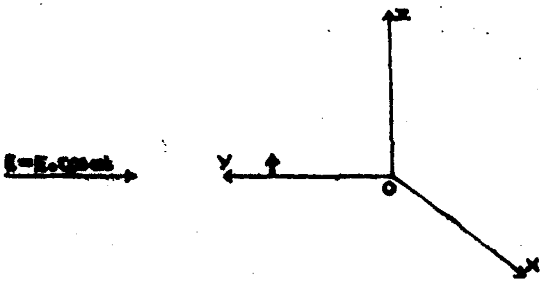
27.4 பனிக்கட்டியின் நீல நிறம்

பனிக்கட்டி பெரிய அளவில் இருக்கும்பொழுது சில குறிப் பிட்ட நிலைகளில் பார்க்கும் பொழுது நீல நிறம் கொண்டு தோன்றுகின்றது. இதற்கும், படும் ஒளியானது பனிக்கட்டியின் மூலக்கூறுகளால் சிதறப்படுதலே காரணமெனலாம். திட, திரவ, வாயு என்னும் மூன்று நிலைகளிலும் அமையும் பொருள்கள் ஒளிச் சிதறலை உண்டாக்குவது தெரிகின்றது.

27.5 இராலே ஒளிச்சிதறல் கொள்கை

படும் ஒளியானது அதன் மின்வெக்டர் கொண்டு மட்டுமே குறிக்கப்படலாம் என்று பார்த்தோம். அதன்படி படும் ஒளியில் இருக்கும் தொடர்ந்து மாறும் மின்வெக்டரை $\vec{E} = \vec{E_o} \cos \omega t$ என்று குறிக்கலாம். $\vec{E}$ என்பது காலம் t-யில் அமையும் ஒளி மின்வெக் ரின் மதிப்பாகும், E_o என்பது பெரும மதிப்பாகும். இப்படிப்பட்ட தளவிளைவுற்ற ஒளியானது Y திசையில் படுவதாகக் கொண்டால், அதன் அதிர்வுகள் Y-க்கு குத்

தாகவும், Z அச்சினுக்கு இணையாகவும் அமைவதாகக் கொள்ளலாம்.



படம் 27.1

படும் மின் வெக்டர் E ஆனது, மூலக்கூறு O-வின் அச்சினுக்கு இணையான திசையில் "இருமுனைத் திருப்புத் திறன்", (dipole moment) ஒன்றினை உண்டாக்கும். இந்த இருமுனைத் திருப்புத் திறன் அலைவு நிலையில் அமைவதால் கதிர் வீச்சு ஒன்றினைக் கொடுக்கும். இஃது X திசையில் அமையும். மேலும் தளவிளைவுற்றதாக இருக்கும். ஆக, படும் திசைக்குக் குத்து திசையில் ஒளிச் சிதறல் மூலம் பெரும ஒளி கிடைக்கும். இவ்வாறு இராலே ஒளிச்சிதறலுக்கு விளக்கம் கொடுத்தார்.

மேலும் தெளிந்த கணித முறையில் கீழ்காணும் முடிவுகள் பெறப்பட்டன. சிதறல் ஒளியானது படும் ஒளியின் அலைநீளத்தை மட்டுமே கொண்டதாக இருக்கும். சிதறல் அடைந்த ஒளியானது தளவிளைவுற்றதாக இருக்கும். சிதறல் அடைந்த ஒளியன் செறிவானது படும் ஒளியின் அலை நீளத்தின் நான்கு மடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

$$\text{அதாவது,} \quad I_{90} \propto \frac{1}{\lambda^4} \quad \text{ஆகும்.}$$

செறிவானது அலை நீளத்தின் நான்கு மடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் $\left(I \propto \frac{1}{\lambda^4}\right)$ இருப்பது, சிதறல் ஒளி ஏன் நீலநிறமாக உள்ளது என்பதனை விளக்குகின்றது. வெள்ளொளியில் உள்ள அதிக அலை நீளம் கொண்ட நிறங்கள் குறைந்த செறிவு கொண்டவையாக சிதறல் ஒளியில் இருக்கும். இதனால் பார்வைப் புலத்தின் கீழ்ப்பகுதியில் செறிவு மிக்கதாக உள்ள நீல நிறம் மட்டுமே

சிதறல் ஒளியில் அதிகச் செறிவு கொண்டதாக உள்ளது. இதனாலேயே சிதறல் ஒளி நீலநிறம் கொண்டதாக அமைகின்றது.

27.6 இராமன் விளைவு

ஒளிச்சிதறல் குறித்த ஆய்வுகளில் சர் சி.வி இராமன் அவர்களுக்கு பெரும்பங்கு உண்டு. முன்பு பார்த்தது போன்று இராலே அவர்களும், மற்றும் பலரும், ஒளிச்சிதறலில் பலவித ஆய்வுகளைச் செய்திருந்தனர். இராலேயின் கொள்கையின்படி, மூலக் கூறுகளில் ஏற்படும் ஒளிச்சிதறலினால் பெறப்படும் ஒளியும் படும் ஒளியின் அலை நீளத்தை மட்டுமே கொண்டிருக்கும். சிதறல் ஒளியின் செறிவு, படும் ஒளியின் அலைநீளத்தின் நான்கு மடிக்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும் என்பதும் பெறப்பட்டது.

கடல் நீர் நீலமாக தோன்றுவதற்கான காரணம், அதன் மூலக் கூறுகள் ஒளியினைச் சிதறச் செய்வதுதான் என்று தெளிவு படுத்திய நிலையில் இராமன் உடன் ஆய்வாளர்களை பலவகைத் திரவங்களில் ஒளிச்சிதறலை ஆராயும்படிச் செய்தார். இதன்படி செய்த ஆய்வுகளின் மூலம் இராலேயின் விளைவுக்கு முற்றிலும் மாறுபட்டதொரு ஒளிச்சிதறலை இராமநாதன் என்பார் 1923-ஆம் ஆண்டு அறிவித்தார். படும் ஒளியில் இல்லாத சில அலை நீளங்கள் கொண்ட ஒளியும் சிதறல் ஒளியில் இருத்தலை அறிவித்தார். திரவங்களை நன்கு வடித்துப் பகுத்தப் பின்னரும் அப்புதிய அலை நீளங்கள் கொண்ட ஒளி இருத்தல் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இதன் பின்னர் கிட்டதட்ட எண்பது திரவங்களில் இம்முடிவுக்கு ஆதாரங்கள் கிடைத்தன. சிதறல் ஒளியில் கூடுதல் வரிகள் தோன்றும் விளைவே 'இராமன் விளைவு' ஆகும்.

27.7. இராமன் விளைவின் முக்கியத்துவம்; புதிய வரிகளின் பண்புகள்

குறிப்பிட்ட அலை நீளம் கொண்ட ஒளியினை பொருளின் மீது கதிர்வீச்சம் செய்யும் பொழுது, அப்பொருளின் மூலக்கூறுகள் மேல்மட்ட ஆற்றல் நிலையை அடைகின்றன. அவ்வாறு ஒளிப் படும் பொழுது மூலக்கூறுக்கு கிடைக்கும் ஆற்றல் அளவு $h\nu$ ஆகும். ν என்பது படும் ஒளியின் அதிர்வு எண் ஆகும். ஏற்படும் மாற்றத்தை,

மூலக் கூறு + $h\nu \rightarrow$ மூலக்கூறு* + $h\nu'$ என்னும் செயல் சமன்பாடு மூலம் விளக்கலாம். மூலக்கூறு* என்பது, கிளர்ச்சியுற்ற மேல் மட்ட ஆற்றல் நிலையைக் குறிக்கின்றது. இந்த நிலையிலிருந்து அடிமட்டத்திற்கு மீளும் பொழுது வெவ்வேறு அதிர்வு

எண் கொண்ட ஒளியை வெளியிடுகின்றது. இதனால் சிதறல் ஒளியில் படும் ஒளியின் அலை நீளம் கொண்ட பகுதி மட்டுமில்லாமல், அதிக அலை நீளம் கொண்டவைகளும் குறைந்த அலை நீளம் கொண்டவைகளும் உள்ளன. இதனால் இராலேயின் சிதறல் போன்றே மூலஒளி இருப்பினும், கூடுதல் எண்ணிக்கை அலை நீளங்கள் இருப்பதுதான் இராமன் விளைவின் முக்கியத்துவமாகும்.

கூடுதல் வரிகள் மூலவரியின் நிலைக்கு இரண்டு பக்கங்களிலும் சம எண்ணிக்கையில் தோன்றுகின்றன. அதாவது அதிகரித்த அலை நீளம் கொண்ட வரிகளின் எண்ணிக்கையும் குறைந்த அலை நீளம் கொண்ட வரிகளின் எண்ணிக்கையும் சமமாக உள்ளன. மூல வரியினின்று இரண்டு பக்கங்களிலும் உண்டாகும் வரிகள் சமச்சீர் (Symmetrical) ஆக அமைகின்றன. படும் வரியை மாற்றி வேறு அலை நீளம் கொண்டதாகச் செய்தாலும் புதிய மூல வரிக்கு இருபுறமும் முன்போலவே சம எண்ணிக்கையில் சமச்சீராக, இரண்டு பக்கங்களிலும் தோன்றுகின்றன.

ஒரே அலை நீளம் கொண்ட ஒளியால் கதிர் வீச்சம் செய்யப் படும் இரண்டு வெவ்வேறு பொருள்கள் கொடுக்கும் கூடுதல் வரிகளின் எண்ணிக்கை வெவ்வேறாக உள்ளன. கூடுதல் வரிகளின் நிலைகளும் மாறுபட்டவையாக உள்ளன.

ஆக, பொருளொன்றுக்கு மூலவரி வெவ்வேறாக இருப்பினும் ஒரே எண்ணிக்கைக் கொண்ட புதிய வரிகள் தோன்றுகின்றன. மூலவரியினின்று ஒவ்வொரு கூடுதல் வரியும் அடையும் இடப் பெயர்ச்சி சமமாக உள்ளது. ஆனால் பொருள் மாறும் பொழுது மூலவரி ஒன்றாகவே இருந்தாலும், கூடுதல்வரிகள் வெவ்வேறு நிலைகளில் வெவ்வேறு எண்ணிக்கையில் தோன்றுகின்றன. எனவே. இந்தக் கூடுதல் வரிகளுக்கு காரணமாக இருப்பது மூலக்கூறின் வடிவமைப்புதான் என்பது தெளிவுப்பட்டது. ஆக, கூடுதல் வரிகளின் எண்ணிக்கை, அமைவு இவற்றினைக் கொண்டு மூலக் கூறுகளின் வடிவமைப்பு காணுதல் இயலும். அதாவது, கூடுதல் வரிகள் மூலக்கூறு ஒன்றின் தனித்தன்மையை வெளிக் கொணருபவையாக உள்ளன.

இந்தவகை கூடுதல் வரிகள் தோன்றுதல் இயலுமென நிறப் பிரிகையினுக்கு குவாண்டக் கொள்கைக் கொண்டு வாய்ப்பாடு அமைத்த கிரேமர் - ஹைசென்பர்க் இருவரும் 1925-ல்

ஆண்டு எடுத்துரைத்தனர். ஸ்மெகல் (Smekal) என்பாரும் இக்கூடுதல் வரிகள் தோன்றும் சாத்தியக் கூறுகள் பற்றி எடுத்து யம்பியிருந்தார். ஆனால் கிட்டத்தட்ட என்பது இரவுகளை பல்லாண்டுகள் தொடர்ந்து அயராது ஆய்ந்ததினால் உண்டானதே 'இராமன் விளைவு' ஆகும். இந்தக் கூடுதல் வரிகளுக்கான கொள்கையை, ஒளியின் மின் காந்தப் பண்புக் கொள்கையின் அடிப்படையாகக் கொண்டு 1928-ஆம் ஆண்டு இராமன் ஏற்படுத்தினார். தெளிவான கொள்கையுடன் இவ்விளைவினால் மூலக்கூறுகளின் வடிவமைப்பு தீர்மானிக்கும் பண்பு பெரிதும் பாராட்டப்பட்டதனாலேயே 1930-ஆம் ஆண்டு இராமன் விளைவுக்கு 'நோபல் பரிசு' கிடைத்தது.

27.8 இராமன் விளைவுக்கான கொள்கை

மூலக்கூறின் மூன்றுவகை ஆற்றல்களான சுழற்சி ஆற்றல் (Rotational energy), அதிர்வு ஆற்றல் (Vibrational energy) எலக்ட்ரான் இயல் ஆற்றல் (Electronic energy) ஆகிய எல்லாவற்றிலும் படும் ஒளி ஆற்றல் மாறுதல்களை உண்டாக்குகின்றது. இதனால் மூவகைகளிலும் இராமன் விளைவு தோன்றுகின்றது. இலேசான மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட வாயுக்களில் மட்டுமே சுழற்சி இராமன் விளைவு ஏற்படுகின்றது. திரவங்களில் சிறிதளவே ஏற்படுகின்றது. இம்மூன்று வகைகளில் அதிர்வு இராமன் விளைவே முக்கிய இடம் வகிக்கின்றது. இதனை மூலக்கூறு முனைவாகுதல் (Polarisation) மூலம் தெளிவுபட விளக்க இயலும். படும் ஒளியில் உள்ள மின்வெக்டர் பகுதி கூடுதல் மின்னூட்ட இருமுனைத் திருப்புத் திறனை (Electric dipole moment) ஏற்படுத்துவதால் முனைவாகு திறன் (Polarizability) மாறுகின்றது. இந்த மாற்றத்தினை $\vec{P} = \alpha \vec{E}$ என்னும் சமன்பாடு கொண்டு குறிக்கலாம். இங்கு $\vec{P}$ என்பது தூண்டப்பட்ட மின்னூட்ட இருமுனைத்திருப்புத் திறன். α என்பது முனைவாகுதிறன்; $\vec{E}$ படும் ஒளியில் உள்ள மின்வெக்டர். படும் ஒளியினை $\vec{E}_0 \cos 2\pi \nu_0 t$ என்று குறிக்கலாம். மூலக்கூறின் மீது படும் இந்த மின் வெக்டர் பகுதி, அலைவுறும் மின் திருப்புத் திறனை தூண்டுகின்றது. இதனால் மூலக்கூறு ஹெர்ட்ஸ் (Hertz) அலையியற்றி போன்று செயல்பட்டு ν_0 அதிர்வு எண்கள் கொண்ட கதிர் வீச்சங்களை வெளியிடுகின்றது.

மூலக்கூறின் முனைவாகுதிறனை α எனக்கொள்வோம். இந்த மதிப்பு அணுக் கருக்களுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு r-ஐ பொறுத்து மாறுகின்றது எனக்கொள்வோம். இதனால் மூலக்கூறு அதிர்வு கொள்ளும்பொழுது முனைவாகுதிறன் மாறுகின்றது. எந்த ஒரு கணத்திலும் அமையும் முனைவாகு திறனை,

$$\alpha_0 + \left(\frac{d\alpha}{dr}\right)_0 \sigma \cos(2\pi\nu t + \epsilon)$$ என்று எழுதலாம்.

σ என்பது வீச்சு ஆகும். ε என்பது மூலக்கூறு அதிர்வுகளின் கட்டமாகும். α_0 என்பது மூலக்கூறு சமநிலையில் இருக்கும் பொழுது அமையும் முனைவாகுதிறன் ஆகும்.

மின் வெக்டர் மதிப்பு $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos 2\pi\nu_0 t$ என்னும் ஒளியலை யானது மூலக்கூறின் மீது படுவதனால் தூண்டப்படும் மின் இரு முனைத் திருப்புத்திறனை,

$$\vec{E}_0 \cos 2\pi\nu_0 t \left[\alpha_0 + \left(\frac{d\alpha}{dr}\right)_0 \sigma \cos(2\pi\nu t + \epsilon) \right]$$ என்று

எழுதலாம். இந்த மதிப்பினை விரித்து எழுத,

$$\vec{P} = \alpha_0 \vec{E}_0 \cos 2\pi\nu_0 t$$

$$+ \vec{E}_0 \left(\frac{d\alpha}{dr}\right)_0 \sigma \frac{1}{2} \left\{ \cos\left[2\pi(\nu_0 + \nu)t + \epsilon\right] \right.$$

$$\left. + \cos\left[2\pi(\nu_0 - \nu)t - \epsilon\right] \right\}$$

என்று கிடைக்கும். வலப்பக்கம் உள்ள மதிப்பு மூன்று பகுதிகளைக் கொண்டுள்ளது. முதல் பகுதி படும் கதிர் வீச்சம் செய்யும் அலையும் அதிர்வினையும், இரண்டாம் பகுதி $(\nu_0 + \nu)$ என்னும் அதிர்வு எண்ணையும், மூன்றும் பகுதி $(\nu_0 - \nu)$ என்னும் அதிர்வு எண்ணையும் கொண்டுள்ளது.

$(\nu_0 - \nu)$ என்பது படும் கதிர்வீச்சினைவிட அதிக அலைநீளம் கொண்ட கதிர்வீச்சங்கள் இருத்தலை விளக்குகின்றது. இவ்வாறு அமையும் வரிகள் ν கொள்ளும் பல மதிப்புகளைக் கொண்டு அமையும். இவை ஸ்டோக் வரிகள் (Stokes' lines) எனப்படும். $(\nu_0 + \nu)$ என்பது அதிக அதிர்வெண்களையும், குறைந்த அலை நீளத்தையும் கொள்ளும் கதிர்வீச்சங்கள் இருத்தலை விளக்குகின்றது. இவை அலைநீளம் குறைந்தவை. ஆகையால், ஆன்டி ஸ்டோக் (Anti - stokes) வரிகள் எனப்படும். எனவே, சிதறல் ஒளியில் கதிர்வீச்சம் செய்யும் ஒளியில் இல்லாத அதிர்வெண்கள் கொண்ட, கூடுதல் அலைநீளம், குறைந்த அலைநீளம் கொண்ட, ஒளி வரிகள் உண்டாதலை மூலவாகுதிறன் கொள்கை மூலம் விளக்கலாம். இந்தக் கூடுதல் வரிகள் மட்டுமன்றி, படும் ஒளியின் அதிர்வெண் கொண்ட ஒளியும் இருத்தலை $\vec{E}_0 \cos 2\pi\nu_0 t$ என்னும் முதல் பகுதி கொடுக்கின்றது. இது இராலே ஒளிச் சிதறல் கொள்கைப்படி உள்ளது.

கிடைத்துள்ள சமன்பாடுகளிலிருந்து கொள்கையளவில் ஸ்டோக், ஆன்டி-ஸ்டோக் வரிகள் சமச்செறிவு கொள்ளவேண்டு மென்பது தெரிகின்றது. ஆனால், ஆய்வுகளின்படி பார்த்தால் ஸ்டோக் வரிகள், ஆன்டி-ஸ்டோக் வரிகளைவிட அதிகச் செறிவு கொண்டவையாக உள்ளன.

27.9. இராமன் விளைவு ஆய்வு அமைவுகள்

பொருளொன்றில் உள்ள மூலக்கூறுகளை ஒற்றைபலை ஒளி கொண்டு கதிர் வீச்சம் செய்யும்பொழுது கிடைக்கும் சிதறல் ஒளியில், படும் ஒளிக்கான வரிகள் மட்டுமேயல்லாமல் கூடுதல் வரிகளும் உண்டாதலுக்கான காரணத்தைக் கொள்கைமூலம் முன் பகுதியில் பார்த்தோம். இக் கூடுதல் வரிகள் தோன்றுதல்தான் இராமன் விளைவு ஆகும். எனவே, இக் கூடுதல் வரிகளை ஆய்வின்மூலம் பதிவுசெய்தல் வேண்டும். இதற்குத் தேவையான அமைப்புகள் குறித்து இப்பகுதியில் பார்ப்போம்.

ஒளிமூலம் : கதிர்வீச்சம் செய்யப் பயன்படும் ஒளியானது ஒற்றை அலைநீளம் கொண்டதாகவும் குறைந்த அலைநீளம் கொண்டதாகவும் இருத்தல் வேண்டும். ஒற்றை அலைநீளம் கொண்ட சோடியம் ஒளி 5,893 ஆ.அ. அலைநீளம் கொண்டுள்ளது. இதனைப் பயன்படுத்தினால் கிடைக்கும் சிதறல் ஒளி மிகக் குறைந்த செறிவு கொள்ளும். இதனால் கதிர்வீச்சம் செய்ய வேண்டிய காலம் மிக அதிகமாகும். இதனால் சோடியம் ஒளி பயன்படுத்தப்படுவதில்லை.

கதிர் வீச்சம் செய்யும் ஒளியில் பல அலைநீளங்களைக் கொண்ட வரிகள் இருந்தால், ஒவ்வொரு வரியும் அதனதன் கூடுதல் வரிகளைத் தோற்றுவிக்கும். இவ்வாறு உண்டாகும் வரிகள் மேற்பொருந்தி எந்த வரி எந்த மூல வரியினால் தோற்றுவிக்கப்பட்டது என்பது தெரியாமல் போக வாய்ப்புண்டு ஆனால், ஆய்வுக்கூடத்தில் கதிர்வீச்சம் செய்யப் பாதரச வில் விளக்குதான் சிறந்ததெனுமாறு உள்ளது. அதிலும், அதில் உள்ள 4,853 ஆ. அ. அலைநீளம் கொண்ட நீல நிற வரி பெரிதும் பயன்படுகின்றது. இதனை மட்டும் கொண்டு கதிர் வீச்சம் செய்ய மற்ற வரிகள் நீக்கப்பட வேண்டும். இந்த வரி செறிவுமிக்கதாக உள்ளதோடு குறைந்த அலைநீளம் கொண்டுள்ளமையால் பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. கதிர்வீச்சம் எப்பொழுதும் சிதறல் ஒளி வெளியேறும் திசைக்குக் குத்தாக இருத்தல் வேண்டும்.

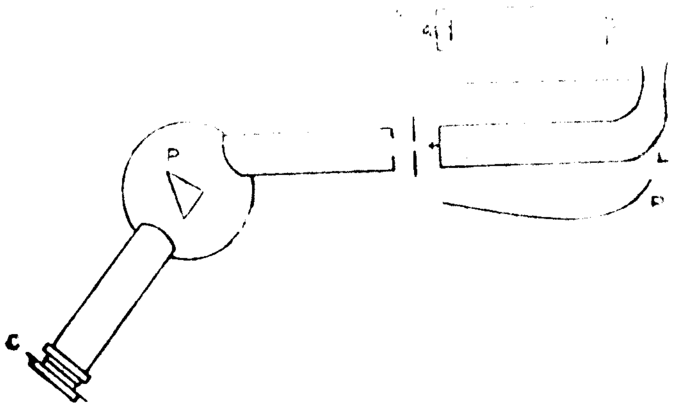
கொள்கலன் : திரவமெனில் கொம்பு வடிவு கொள்ளும் கண்ணாடிக் குழாயில் வைத்துக் கதிர்வீச்சம் செய்யப்படுகின்றது. வாயுவெனில் அதிக அழுத்தத்தைத் தாங்கும் சிறப்பு அமைவுகள் கொண்ட குழாய்களில் 40 அல்லது 50 வெளியழுத்தத்தில் நிரப்பப்படுகின்றது. படிகங்களுக்குச் சிறப்பு முறையில் கதிர் வீச்சம் செய்யப்படுகின்றது.

நிறமாலைமானி : சிதறல் ஒளியினைப் பெருமளவில் சேகரித்து, நன்கு நிறப்பிரிகை செய்யும் நிறமாலைமானிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. நிறமாலைமானிகளில் நிரந்தரப் பதிவு செய்யும் வகையில், கண்ணருகிக்குப் பதிலாகப் படவியல் தகடு கொண்டு, நிழற்படமாக வரிகள் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. இந்த எல்லாவற்றையும் கொண்டு படம் 27.2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு ஆய்வு அமைவுகள் உள்ளன.

S என்பது ஒளிமூலம்; *L* என்பது ஆய்வுத் திரவம் வைக்கும் இராமன் குழாய்; *R* எதிரொளிப்பான். *P* என்பது நிறமாலைமானியில் உள்ள பட்டகம்; *C* படவியல் காமிரா.

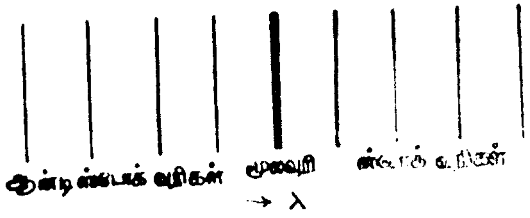
S-லிருந்து வரும் ஒளி, திரவத்தைக் கதிர்வீச்சம் செய்கின்றது. சிதறல் ஒளி அம்புக்குறி திசையில் நிறமாலைமானியின் பிளவினை அடைகின்றது. பட்டகம் *P*-ல் நிறப்பிரிகை அடைந்து, பின்னர் படவியல் தகட்டின்மீது படுகின்றது; படவியல் தகட்டில் தோன்றுப் படிவமாகப் பதிவாகின்றது. படவியல் தகட்டினைத் தோற்றுவிக்கப் படம் 27.3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு வரிகள் தோன்றும்.

கதிர்வீச்சு செய்யும் வரிகள் ... அதிக அலைநீளப் பகுதியில் அமையும் வரிகள் ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் என்றும் குறைந்த



படம் 27.2

அலைநீளப் பகுதியில் அமையும் வரிகள் ஆன்டி-ஸ்டோக்ஸ் வரிகள் என்றும் கூறப்படும்.



படம் 27.3

இரண்டு பக்கங்களிலும் ஒரே எண்ணிக்கை கொண்ட கூடுதல் வரிகள் கிடைக்கும். ஒவ்வொரு பக்கத்திலும் அமையும் இந்த வரிகள் மூலவரியிலிருந்து சம இடப்பெயர்ச்சி கொண்டு அமைகின்றன. மூலவரியிலிருந்து ஒவ்வொரு வரியும் அமைந்துள்ள இடைவெளிகளை அதிர்வு எண்ணிக்கைமூலம் குறிப்பது வழக்கம். இந்த இடப்பெயர்ச்சிகள் 'அதிர்வு இடப்பெயர்ச்சிகள்' (Frequency shifts) எனப்படும். இந்த இடப்பெயர்ச்சிகளை அதிர்வு எண்ணிக்கை (ν cm^{-1}) கொண்டு குறிப்பிடுதல் வழக்கம். அணுக்களின் ஒவ்வொரு வகைப் பிணைப்புக்கும் ஒவ்வோர் அதிர்வு எண் இடப்பெயர்ச்சி இருக்கும். எனவே, இந்த இடப்பெயர்ச்சிகளை அறிதல்மூலம் அணுக்கருப் பிணைப்பு (Atomic bond) வகைகளைத் தீர்மானிக்க இயலும்.

27.10. திரவங்களில் சில முடிவுகள்

(a) சுழற்சி இராமன் விளைவு: திரவங்களின் மூலக்கூறுகள் கனமானவையாக இருப்பதனால் படும் ஒளியில் உள்ள குவாண்ட ஆற்றல் மூலக்கூறுகளைச் சுழற்றும் அளவுக்கு அமைவதில்லை. மாறாக, பகுதிச் சுழற்சிதான் (Hindered rotation) ஏற்படுகின்றது. இதனால் படம் 27.4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு படும் வரியின் இரு பக்கங்களிலும் சிறகு அமைவு போன்ற விரவல் ஏற்படுகின்றது. இதற்குக் காரணம் பொருளின் மூலக்கூறுகள் ஒருபடித்தானதாக இல்லாமை (Anisotropic) ஆகும். உதாரணத்திற்கு, கார்பன் டெட்ரா குளோரைடு மூலக்கூறை எடுத்துக்கொள்வோம். இதில் ஒரு கார்பன் அணுவும் நான்கு குளோரின் அணுக்களும் உள்ளன. குளோரினில் Cl^{35}, Cl^{37} என்னும் ஐசோடோப்பு (Isotopic) அணுக்கள் உள்ளன. நான்கு குளோரின் அணுக்களும் ஒரே வகையாக இருந்தால் கார்பன் டெட்ரா குளோரைடு மூலக்கூறு ஒருபடித்தாகவும், வெவ்வேறு வகையினை இணைந்திருந்தால் ஒருபடித்தற்றதாகவும் உள்ளது. பெரும்பாலும் ஒருபடித்தற்றதாக உள்ளமையாலேயே சிறகு போன்ற அமைவு உண்டாகின்றது. சிறகு அமைவின் செறிவுகள் மூலக்கூறில் அமைந்துள்ள அணுக்களின் ஐசோடோப்புத் தன்மைகளை வெளிக்கொணருகின்றன.

படம் 27.4

(b) அதிர்வு இராமன் விளைவு: மூலக்கூறொன்றில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து அதிர்வு இராமன் வரிகள் அமையும். இரண்டணு மூலக்கூறுக்கு $(3n-5)$ கூடுதல் வரிகள் உண்டாகும். இரண்டுக்கு மேற்பட்ட அணுக்களைக் கொண்டது எனில், $(3n-6)$ அதிர்வு வரிகள் உண்டாகும். n-என்பது அணுக்களின் எண்ணிக்கை. ஒரேமாதிரி அமைவுகள் மேற்பொருந்துதல் போன்ற எல்லாவற்றையும் கருதி குறிப்பிட்ட அமைவுக்குக் கிடைக்கக்கூடிய வரிகளை நிர்ணயிக்கலாம். பின்னர் ஆய்வின்மூலம் இராமன் விளைவு படத்தகடு பதிவிட்டுக் கிடைக்கும் வரிகளுடன் ஒப்பிட்டுச் சரிபார்க்கலாம்.

27.11. வாயுக்களில் முடிவுகள்

(a) சுழற்சி இராமன் விளைவு: எடை குறைவான மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட H_2, D_2, N_2 மற்றும் O_2 போன்ற வாயுக்களில் சுழற்சி இராமன் விளைவு ஏற்படுகின்றது. மற்றும் CO_2, N_2O போன்ற மூலக்கூறுகளுக்கும் சுழற்சி இராமன் விளைவு ஆய்ப்

பட்டது. இந்த ஆய்வுகளின்மூலம் அவற்றின் உட்கருத்த தன்மைகள் முதலியவை உண்மைகள் கிடைக்கின்றன. 'அடுத்தடுத்த வரிகள் செறிவு கொள்கை' (Phenomena of alternating intensities) இந்த வகை மூலக்கூறுகளில் ஏற்படுகின்றன. மையச் சீரமைவு (Centre of symmetry) மூலக்கூறுகளில் மட்டுமே இவ்வகை வரிகள் தோற்றம் ஏற்படும். CO_2, N_2O இவை இரண்டும் ஆய்வுபட்டபொழுது CO_2 இந்த விளைவினை ஏற்படுத்துகின்றது. எனவே, O—C—O எனும் நேரியல் மையச் சீரமைவு வடிவு கொண்டது எனலாம். N_2O இந்த விளைவினை ஏற்படுத்தாமையால், N—N—O என்னும் சீரற்ற வடிவு கொண்டது என முடிவு செய்யலாம்.

(b) அதிர்வு இராமன் விளைவு : இலேசான இரட்டை அணு மூலக்கூறுகளான H_2, D_2, N_2, O_2 இவைகளில் (3×2—5) ஒரே ஓர் அதிர்வு வரி ஏற்பட வேண்டும். எதிர்பார்த்தது போன்றே ஒரு வரி உண்டாகின்றது. மேலும் அதிர்வுக்கான சமன்பாடு,

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{\mu}} \text{ ஆகும்.}$$

K என்பது விசைமாறிலி; μ என்பது மூலக்கூறின் குறைப்பு எடை (reduced mass); ν ஏற்படும் அதிர்வுகளின் எண்ணிக்கை. குறைப்பு எடை மிகுதியாக இருப்பதனுக்கு, எடை அதிகரிக்க அதிர்வுகள் குறையவேண்டும். இதன்படி ஏற்படும் அதிர்வு இடப்பெயர்ச்சி (Frequency shifts) ஒவ்வொரு மூலக்கூறுக்கும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

H_2 – 4,15[illegible] Cm^{-1}

D_2 – 2,9[illegible]0 Cm^{-1}

N_2 – 2,330 Cm^{-1}

O_2 – 1,556 Cm^{-1}

மேலும் H_2, D_2 இவைகளுக்கான எடை களையும் அதிர்வு களையும் ஒப்பிட,

	H_2	D_2
எடை	1	2
அதிர்வுகள்	1	$\frac{1}{\sqrt{2}}$

என இருக்கும்.

ஆக, 4,56-க்கும் 2,1990-க்கும் ஆன விகிதம் இந்த அதிர்வுகளுக்கான விகிதங்களைக் கொடுத்தல் கொள்கையினுக்கு ஆதாரமாக அமைகின்றது.

27.12. படிகங்களில் முடிவுகள்

அதிர்வு இராமன் விளைவு : படிகங்களில் சுழற்சி இராமன் விளைவு ஏற்படும் வாய்ப்பில்லை. ஆனால் அதிர்வு இராமன் விளைவு ஏற்படுகின்றது. பிணைப்பு நெருக்கமாக இருப்பதனால் உண்டாகும் சிதறல் ஒளிச்செறிவு மிகக் குறைவாக இருக்கும். அதிர்வு விளைவுடன், அணுக்கள் அமைந்துள்ள ஒரு தளமானது மற்றொரு தளத்தினை நோக்கி அதிர்வுறுதல்மூலம் கூடுதல் விளைவுகள் பெறப்படுகின்றன. படிகங்களில் கிடைக்கும் இராமன் விளைவின் மூலம் அவைகளை வகைப்படுத்த இயலுகின்றது. மிகவும் அதிகமான சீரமைவுகொண்ட கனசதுரப் படிகங்களிலிருந்து, சீரமைவற்ற 'மோனோகிளினிக்' வகைவரை முறைப்படி அமைக்க இராமன் விளைவு உதவுகின்றது.

27.13. மூலக்கூறு வடிவமைப்பினைத் தீர்மானித்தல்

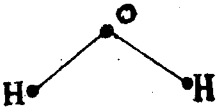
சில சிறிய மூலக்கூறுகளின் வடிவமைப்புகளையும், ஒழுங்கமைவு கொண்ட சில பெரிய மூலக்கூறுகளின் வடிவமைப்புகளையும், அவற்றின் இராமன் விளைவு வரிகளைப் பதிவு செய்தல் மூலம் தீர்மானிக்க இயலும். இதற்குத் தொகுப்புக் கொள்கை (Group Theory) மூலம் கிடைக்கப்பெறும் சில விதிமுறைகளைக் கையாளல் வேண்டும். வடிவமைப்புத் தீர்மானிக்க வேண்டிய மூலக்கூறு ஏற்படுத்தும் இராமன் விளைவு வரிகளுடன், புறச்சிவப்பு வரிகள் அமையும் நிலைகளும் தெரிந்திருத்தல் வேண்டும்.

இந்த உண்மைகள் தெரிந்த நிலையில் மூலக்கூறு ஒன்றினுக்கான பலவகை இயலும் வடிவமைப்புகள் (possible structures) என்னவென்பதைக் குறித்துக்கொள்ளல்வேண்டும். தொகுப்புக் கொள்கை மூலம் ஒவ்வொரு வடிவமைப்புக்கும் கிடைக்கும் இராமன் அதிர்வு வரிகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடலாம். எந்த வடிவமைப்புக்குக் கணக்கீட்டுமூலம் கிடைக்கும் கூடுதல் அதிர்வு வரிகளின் எண்ணிக்கையும், ஆய்வின் மூலம் கிடைக்கும் வரிகளின் எண்ணிக்கையும் சமமாக உள்ளதோ, அந்த வடிவமைப்புச் சரியானது எனக் கொள்ளவேண்டும்.

உதாரணத்திற்கு, நீர் மூலக்கூறினை எடுத்துக்கொள்வோம். ஓர் ஆக்ஸிஜன் அணுவும், இரண்டு ஹைடிரஜன் அணுக்களும் உள்ளன. H_2O எனக் குறிக்கப்படும் மூலக்கூறினுக்கு மூன்று வடிவமைவுகளைக் கொடுக்கலாம். அவைகளை,

(i) H —— O —— H —நீட்டியல் சமச்சீர் வடிவு

(ii) H —— H —— O —நீட்டியல் சமச்சீரற்ற வடிவு

(iii) 

—சமச்சீரான வளைவடிவு

எனக் குறிக்கலாம்.

படம் 27.5

தொகுப்புமுறைக் கணக்கீட்டு எண்ணிக்கை இராமன் அதிர்வு கூடுதல் வரிகளும், ஆய்வு முறையில் கிடைக்கும் வரிகளும் மூன்றுவதாகக் குறிக்கப்பட்டுள்ள சமச் சீர் வளைவடிவுதான் நீர் மூலக்கூறின் வடிவமைப்பு என்பதனை நிறுவுகின்றன.

இவ்வாறு பலவகைப்பட்ட மூலக்கூறுகளுக்கு வடிவமைப்பு கள் தீர்மானிக்கப்பட்டன. இந்த முக்கியத்துவமே இராமன் விளைவுக்கு நோபல் பரிசு கிடைக்க ஏதுவாக அமைந்தது.

வினாக்கள்

1. வானத்தின் நீலநிறம், கடலின் நீலநிறம், பனிக் கட்டியின் நீலநிறம் ஆகியவைகளுக்கான காரணத்தை விவரிக்க.

2. இராலே ஒளிச்சிதறல்மூலம் அறியப்படுவது என்ன? இராமன் ஒளிச்சிதறலின் முக்கியத்துவம் என்ன?

3. இராமன் ஒளிச்சிதறலில் அமையும் கூடுதல் வரிகள் பற்றி விளக்குக. 'இராமன் விளைவு'க்கான கொள்கையைக் கொடுக்கவும்.

4. 'இராமன் விளைவு' என்றால் என்ன? கூடுதல் வரிக்கான விளக்கத்தைக் கொடுக்கவும். இராமன் விளைவின் ஆய்வு அமைவுகளை விவரிக்கவும். திரவங்கள், வாயுக்கள், படிகங் களில் கிடைக்கும் இராமன் விளைவு முடிவுகளைப்பற்றிக் குறிப்பு வரையவும்.

5. அதிர்வு இராமன் விளைவுக்கான கொள்கையைக் கொடுக் கவும். கிடைக்கும் கூடுதல் வரிகள் ஒளிச்சிதறலை ஏற்படுத்தும் மூலக்கூறின் வடிவமைப்பினைத் தீர்மானிக்க எப்படி உதவு கின்றன என்பதனை விவரிக்கவும்.

மேற்கோள் நூற்பட்டியல்
(Bibliography)

1. Fundamentals of Optics — Jenkins & White, McGraw Hill Book Co.

2. A Text book of Light — G. R. Noakes, MacMillan & Co. Ltd.

3. Introduction to Geometrical and Physical Optics — Joseph Morgon, McGraw Hill Book Co.

4. The Principles of Optics — Hardy and Perrin, McGraw Hill Book Co.

5. Optics — Bruno Rossi, Addision Werley Pub. Co.

6. ஒளியியல் — சண்முகசுந்தரம், சபேசன், தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்.

7. Principles of Optics — B. K. Mathur, Gopal Printing Press, Kanpur.

8. A Text book of Light — D. N. Vasudeva, Atma Ram & Sons, Delhi.

9. A Treatise of Light — R. A. Houston, Longmans, Green & Co.,

10. An Introduction to Modern Optics — Ajoy K. Ghatak, Tata McGraw Hill Pub. Co. Bombay.

11. Geometrical and Physical Optics — Longhurst, Longmans, Green & Co.,

12. The Theory of Light — Preston, MacMillan Co.

கலைச்சொற்கள்

A

Absent spectrum — தோன்றா நிறமாலை
Absolute — தனி, சார்பிலா
Absolute unit — தனி அலகு, சார்பிலா அலகு
Absorption — உட்கவர்தல்
Absorption bands — உட்கவர் பட்டைகள்
Absorption coefficient — உட்கவர் எண்
Absorption spectrum — உட்கவர் நிறமாலை
Absorptive power — உட்கவர் திறன்
Achromatic prism — நிறப்பிறழ்ச்சி நீக்கியப் பட்டகம்
Angle of dispersion — நிறப்பிரிகைக் கோணம்
Angle of incidence — படுகோணம்
Angle of reflection — எதிரொளிப்புக் கோணம்
Angle of refraction — விலகு கோணம்
Angstrom unit — ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு
Anisotropic — திசையொவ்வாப் பண்பியலான
Anomalous dispersion — முரணிய நிறப்பிரிகை
Arcspectrum — மின்வில் நிறமாலை
Astronomical telescope — வானியல் தொலைநோக்கி
Atomic physics — அணுவியல்
Atomic spectra — அணு நிறமாலை
Auxiliary lens — துணை வில்லை

B

Babinet's compensator — பேபினட் ஈடுசெய்வி
Back lash — பின்தொய்வு
Balmer series — பாமர் அணி
Band head — பட்டை முகப்பு

Band intensity — பட்டைச் செறிவு
Band spectrum — பட்டை நிறமாலை
Band width — பட்டை அகலம்
Beam of light — ஒளிக்கற்றை
Biaxial crystal — ஈரச்சுப் படிகம்
Bimirror — ஈராடி
Biprism — இரட்டைப் பட்டகம்
Biquartz — பைகுவார்ட்ஸ்
Bolometer — வெப்பக் கதிர்மானி, போலாமீட்டர்
Bright fringe — ஒளி வரி
Brightness — பொலிவு

C

Calcite — கால்சைட்
Central fringe — மையப் பட்டை
Central maximum — மையப் பெருமம்
Circular aperture — வட்டத் துளை
Circularly polarised light — வட்டவியல் தளஒளி
Coherent sources — ஓரியல் ஒளிமூலங்கள்
Colour vision — நிறப் பார்வை
Concave lens — குழி வில்லை
Concentric circles — ஒருமைய வட்டங்கள்
Condensing lens — ஒளி குவிவில்லை
Conjugate foci — பரிமாற்றுக் குவியங்கள்
Conjugate points — பரிமாற்றுப் புள்ளிகள்
Continuous spectrum — தொடர் நிறமாலை
Convex surface — குவிதளம்
Corpuscular Theory — துகள் கொள்கை
Critical angle — மாறுநிலைக் கோணம்
Cross wire — குறுக்குக் கம்பி
Crossed nicol — குறுக்குறு நிக்கல்
Crystal — படிகம்
Crystal lattice — படிக அணிக்கோவை
Crystallographic axis — படிக அச்சு
Cusp — வளைவிடம்
Cylinderical wave front — உருளை அலைமுகப்பு

D

Dark fringe	—	இருள் வரி
Denser medium	—	அடர்மிகு ஊடகம்
Depolarisation	—	முனைவு நீக்கம்
Dextro rotatory	—	வலஞ்சுழி
Dichroic crystal	—	இருநிறம் காட்டும் படிகம்
Dichroism	—	இருநிறம் காட்டும் பண்பு
Diffraction	—	விளிம்பு விளைவு
Diffraction fringes	—	விளிம்பு விளைவு வரிகள்
Diffraction pattern	—	விளிம்பு விளைவுப் பாங்கம்
Dioptre	—	டைஆப்டர்
Direct vision spectroscope	—	நேர்காட்சி நிறமாலைகாட்டி
Dispersion	—	நிறப்பிரிகை
Doppler Effect	—	டாப்ளர் விளைவு
Double image prism	—	இரட்டை பிம்பப் பட்டகம்
Double refraction	—	இரட்டை ஒளி விலக்கம்
Doublet	—	இரட்டை வரி
Double slit	—	இரட்டைப் பிளவு
Double stars	—	இரட்டை விண்மீன்கள்

E

Efficiency	—	இயக்குந்திறம்
Elastic scattering	—	மீட்சியியல் சிதறல்
Electro chemical equivalent	—	மின்வேதிய எண்
Electro-magnetic radiation	—	மின்காந்த நிறமாலை
Electro-magnetic wave	—	மின்காந்த அலை
Electron diffraction	—	எலக்ட்ரான் விளிம்பு விளைவு
Electron volt	—	எலக்ட்ரான் வோல்ட்
Elliptic orbit	—	நீள்வட்டச் சுற்றுப்பாதை
Elliptically polarised light	—	நீள்வட்டத் தள ஒளி
Emergent ray	—	விடுகதிர்
Emission bands	—	வெளிவிடு பட்டைகள்
Emission spectrum	—	வெளிவிடு நிறமாலை
Empirical Law	—	அனுபவ விதி
Energy level	—	ஆற்றல் மட்டம்
Energy level diagram	—	ஆற்றல் மட்டப் படம்
Epoch	—	தொடக்கக் கட்டம்
Equlvalent lens	—	இணைமாற்று வில்லை

Exposure — திறப்பு
Extraordinary ray — அசாதாரணக் கதிர் அல்லது சிறப்புக் கதிர்

F

Field of view — பார்வைப் புலம்
Field lens — புலவில்லை
Flame spectrum — சுடர் நிறமாலை
Flourescence — ஒளிர்தல்
Focal length — குவியதூரம்
Focal lines — குவியக் கோடுகள்
Focus — குவியம், குவிதல்
Forward scattering — முன்னோக்கிச் சிதறல்
Frequency — அதிர்வெண்
Frequency of rotation — சுழற்சி அதிர்வெண்
Fringe — வரி
Fundamental frequency — அடிப்படை அதிர்வெண்

G

Geometric axis — வடிவியல் அச்சு
Geometric shadow — வடிவியல் நிழல்
Geometrical image — வடிவியல் பிம்பம்
Geometrical optics — வடிவியல் ஒளியியல்
Grating — கீற்றணி
Grating element — கீற்றணி மூலம்

H

Half-period element — அரை அலைவு நேரக்கூறு
Half-period zone — அரை அலைவு நேரமண்டலம்
Half-shade plate — அரை நிழல் தகடு
Half-wave plate — அரை அலைத் தகடு
Heterogeneous — பல்படித்தான
Hydrogen spectrum — ஹைட்ரஜன் நிறமாலை

I

Illuminating power — ஒளியூட்டு திறன்
Illumination — ஒளியூட்டம்

Image — பிம்பம்
Impure spectrum — கலப்பு நிறமாலை
Incident wave front — படு அலை முகப்பு
Infra-red — புறச்சிவப்பு
Infra-red spectrum — புறச்சிவப்பு நிறமாலை
Interference — குறுக்கீட்டு விளைவு
Interference pattern — குறுக்கீட்டுப் பாங்கம்
Inter ferometer — குறுக்கீட்டு விளைவு மானி
Irradiation — கதிர்வீச்சுக்குட்படுத்தல்
Isotropic — திசையொப்புப் பண்பியலான

J

Jamin's compensator — ஜேமின் ஈடுசெய்வி
Jamin's Interferometer — ஜேமின் குறுக்கீட்டு விளைவுமானி
Jupiter — வியாழன்

K

Kerr Effect — கெர் விளைவு
Kilo cycle — கிலோ சைக்கிள் அல்லது கிலோ ஹெர்ட்சு
Kinetic energy — இயக்க ஆற்றல்

L

Lagging — பின்தங்குதல்
Lateral magnification — குறுக்கு உருப்பெருக்கம்
Lens — வில்லை
Light filter — ஒளி வடிப்பான்
Line spectra — வரி நிறமாலைகள்
Lloyd's single mirror — லாய்டு ஒற்றை ஆடி
Lyman series — லைமான் அணி

M

Mass spectra — நிறை நிறமாலை
Minimum — சிறுமம்
Molecular scattering — மூலக்கூறு ஒளிச்சிதறல்

Monochromatic light — ஒற்றை நிற ஒளி
Monochromatic source — ஒற்றை நிற ஒளிமூலம்

N

Negative crystal — எதிர்ப்படிகம்
Newton's rings — நியூட்டன் வளையங்கள்
Nicol prism — நைக்கல் பட்டகம்
Normal dispersion — இயல் நிறப்பிரிகை

O

Objective — பொருளருகு வில்லை
Oblique incidence — சாய்வுப் படுகை
Optic axis — ஒளி அச்சு
Optic bench — ஒளியியல் அளவுச் சட்டம்
Optic centre — ஒளியியல் மையம்
Optical activity — ஒளியியல் வினை
Optical path — ஒளிப் பாதை
Optical rotation — ஒளித்தளச் சுழற்சி
Optically active medium — ஒளித்தளச் சுழற்சி ஊடகம்
Ordinary ray — சாதாரண பிம்பம்
Overlapping spectra — மேற்பொருந்து நிறமாலைகள்

P

Paraxial rays — அச்சிணைக் கதிர்கள்
Partially polarised light — பகுதள விளைவுற்ற ஒளி
Path difference — பாதை வேறுபாடு
Periodicity — மடக்கு நிலை
Periodic table — தனிம அட்டவணை
Phase — கட்டம்
Phase change — கட்டமாற்றம்
Phase difference — கட்ட வேறுபாடு
Phosphorescence — நின்றொளிர்தல்
Photometer — ஒளிமானி
Photographic plate — ஒளிப்படத் தட்டு
Physical optics — இயற்பியல் ஒளியியல்
Pivot — சுழற்சித்தானம்

Polarimeter — பொலாரிமீட்டர்
Polarisation — தளவிளைவு
Polarised light — தளவிளைவுற்ற ஒளி
Polarisibility — முனைவாகு திறன், தளவிளைவுத் திறன்
Polarising angle — தளவிளைகோணம்
Polaroid — போலராய்டு
Pole of the wave front — அலைமுக மையம்
Positive crystal — நேர்ப்படிகம்
Progressive waves — முன்னேறு அலைகள்

Q

Quarter-wave plate — கால் அலைத் தட்டு
Quartz crystal — குவார்ட்ஸ் படிகம்

R

Raman Effect — இராமன் விளைவு
Rayleigh's Criterian — ராலே நியமம்
Rectilinear propagation — நேர்கோட்டுப் பரவல்
Refraction — ஒளிவிலகல்
Resonant vibration — ஒத்திசை அதிர்வு
Rotation spectrum — சுழற்சி நிறமாலை
Rotation vibration spectrum — சுழற்சி அதிர்வு நிறமாலை
Rydberg's constant — ரிட்பெர்க் மாறிலி

S

Sascharimeter — சர்க்கரைமானி
Satellite — துணைக்கோள்
Scattering of light — ஒளிச் சிதறல்
Secondary waves — இரண்டாம் நிலை அலைகள்
Selective emission — தேர்ந்த வெளியீடு
Simple microscope — தனி நுண்ணோக்கி
Sodium vapour lamp — சோடியம் ஆவி விளக்கு
Specific rotation — தன் திருப்பு எண்
Spectral range — நிறமாலை நெடுக்கம்
Spectrograph — நிறமாலை வரைவி
Spectroscope — நிறமாலை காட்டி
Spectrum analysis — நிறமாலைப் பகுப்பாய்வு

Spherical waves	—	கோளக அலைகள்
Stellar interferometer	—	மீனொளிக் குறுக்கீட்டுமானி
Stokes lines	—	ஸ்டோக்ஸ் வரிகள்
Straight edge	—	நேர்விளிம்பு
Supplementary angle	—	நிமிர்க்கும் கோணம்

T

Tangential screw	—	தொடுவியல் திருகு
Thin prism	—	மென் பட்டகம்
Tourmaline	—	டூர்மலின்
Transverse wave motion	—	குறுக்கலையியக்கம்
Travelling microscope	—	இயங்கு நுண்ணோக்கி

U

Ultra microscope	—	மீநுண்ணோக்கி
Ultra-violet	—	புற ஊதா
Ultra-violet spectrum	—	புறஊதா நிறமாலை
Unpolarised light	—	தளவிளைவுறா ஒளி

V

Vacuum spectrograph	—	வெற்றிட நிறமாலைமானி
Vibrational energy	—	அதிர்வு ஆற்றல்
Vibrational spectrum	—	அதிர்வு நிறமாலை
Visible spectrum	—	கட்புல நிறமாலை

W

Wave analysis	—	அலைப் பகுப்பாய்வு
Wave front	—	அலைமுகப்பு
Wave Theory	—	அலைக்கொள்கை

Y

Young's interference	—	யங் குறுக்கீட்டு விளைவு

Z

Zone	—	மண்டிலம்
Zone plate	—	மண்டிலத் தட்டு

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை-600 031

★

தமிழில் பயில்பவர்க்குக் கல்லூரிப் பாடநூல்கள்

(Tamil Medium Books for Colleges)

1980 ஏப்ரல் முடிய 889 நூல்கள் வெளியிடப்பட்டுள்ளன.

★

மேலும் விரைவில் வெளிவருபவை

மருத்துவவியல்	—	1	நூல்
இயற்பியல்	—	3	,,
வேதியியல்	—	2	,,
விலங்கியல்	—	8	,,
கணிதவியல்	—	3	,,
வணிகவியல்	—	7	,,
பொருளியல்	—	3	,,
புவியியல்	—	1	,,
வரலாற்றியல்	—	11	,,
உளவியல்	—	2	,,
புள்ளியியல்	—	4	,,
அரசியல்	—	9	,,
தாவரவியல்	—	4	,,

கிடைக்குமிடங்கள் :

1. தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனக்கிடங்கு

பலகை வாராவதி, திருவான்மியூர்,

சென்னை-600 041

2. தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

62, ஸ்பர் டாங்க் சாலை, சேத்துப்பட்டு,

சென்னை-600 031

கிடங்கில் வாங்குவோர்க்கு 20% கழிவு வழங்கப்படும்.

பாடநூல் நிறுவனத்தில் வாங்குவோர்க்கு 10% கழிவு வழங்கப்படும்.